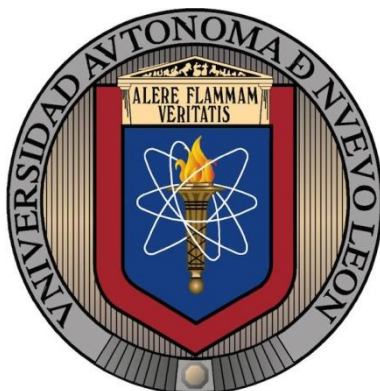


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**CALIDAD Y VIDA POSCOSECHA DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS CULTIVADOS
BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA Y CUBIERTA A BASE DE
POLISACÁRIDOS DE *OPUNTIA FICUS-INDICA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

PRESENTA

DULCE CONCEPCIÓN GONZÁLEZ SANDOVAL

MARZO 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**CALIDAD Y VIDA POSCOSECHA DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS CULTIVADOS
BAJO CONDICIONES DE HIDROPONIA Y CUBIERTA A BASE DE
POLISACÁRIDOS DE *OPUNTIA FICUS-INDICA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

PRESENTA

DULCE CONCEPCIÓN GONZÁLEZ SANDOVAL

MARZO 2019

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

COMITÉ PARTICULAR

Dr. Romeo Rojas Molina
Director

Dr. Humberto Rodríguez Fuentes
Codirector

Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo
Asesor

Dra. Julia Mariana Márquez Reyes
Asesor

Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero
Tutor

Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras
Subdirector de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicó principalmente a Dios el creador de todas las cosas, quien me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado.

A mi familia que me ha brindado su amor, confianza y apoyo incondicional.

A todas las personas que he conocido a lo largo de mi vida quienes me han compartido sus experiencias las cuales son ejemplos de vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de posgrado con la beca número 1855, al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT) y al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal a través del proyecto “Estandarización del proceso de extracción de aceites esenciales de especies aromáticas: diseño y construcción de equipo microindustrial” 2018-1 B-S-65769 por el soporte financiero brindado para el desarrollo del presente proyecto.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León y cada uno de sus integrantes, por el apoyo brindado durante mi estancia en la institución.

A mi asesor principal Dr. Romeo Rojas Molina por su tiempo y conocimientos compartidos para hacer realidad el presente trabajo de investigación.

A mis asesores auxiliares Dr. Humberto Rodríguez Fuentes, Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo, Dra. Julia Mariana Márquez Reyes y la Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero por las aportaciones realizadas al presente trabajo.

Al Ing. Fernando Cabriaes Luna encargado del Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la FAUANL, Campus Marín; por su apoyo en la realización de diversos análisis de la investigación

Al Ing. Zayd Eliud Rangel Nava encargado del Laboratorio de Ingeniería de la FAUANL; por su apoyo en la realización de diversos análisis poscosecha.

Al personal del Laboratorio de Química y Bioquímica de la FAUANL; por su apoyo en la realización de diversos análisis poscosecha.

A mis compañeros y amigos del Doctorado en Ciencias Agrícolas por brindarme su apoyo y amistad durante mi estancia en la FAUANL.

A mi familia por darme su apoyo y confianza para realizar mis metas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	15
HIPÓTESIS	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Capítulo 1 Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y calidad comercial de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor cultivado bajo condiciones de hidroponia.....	21
1.1. Resumen.....	21
1.2. Abstract.....	22
1.3. Introducción.....	23
1.4. Materiales y Métodos	25
1.4.1. Análisis de calidad de agua	25
1.4.2. Cálculo y preparación de solución nutritiva.....	26
1.4.3. Siembra de los bulbos de <i>Lilium</i> asiático	26
1.4.4. Medición de variables fenológicas	27
1.4.5. Análisis estadístico	27
1.5. Resultados y Discusión	27
1.5.1. Calidad de agua.....	27

1.5.2. Cálculo de la solución nutritiva	28
1.5.3. Medición de variables fenológicas	29
1.5.4. Longitud y diámetro de tallo	29
1.5.5. Número de botones	31
1.5.6. Biomasa fresca y seca de tallo-hojas y bulbos	32
1.6. Conclusiones.....	33
1.7. Bibliografía	34
Capítulo 2 Efecto de la cubierta a base de polisacáridos de <i>Opuntia ficus-indica</i> sobre la vida poscosecha de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor.....	39
2.1. Resumen.....	39
2.2. Abstract.....	40
2.3. Introducción.....	41
2.4. Materiales y Métodos	44
2.4.1. Colecta de material vegetal	44
2.4.2. Extracción del mucílago	44
2.4.3. Formulación de las películas	45
2.4.4. Recubrimiento de las varas florales	45
2.4.5. Análisis estadístico	46
2.5. Resultados y Discusión.....	46
2.5.1. Pérdida de peso fresco en varas florales.....	46
2.5.2. Número de flores abiertas.....	48
2.5.3. Apariencia de las varas florales	49
2.5.4. Volumen promedio de agua gastado por las varas florales	50
2.5.5. Gasto promedio de la producción y aplicación de la cubierta a base de mucílago de nopal en <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor	51

2.6. Conclusiones.....	52
2.7. Bibliografía	52
Capítulo 3 Recubrimiento comestible y su efecto sobre parámetros fisicoquímicos de nopal	56
3.1. Resumen.....	56
3.2. Abstract.....	57
3.3. Introducción.....	57
3.4. Materiales y Métodos	60
3.4.1. Colecta de material vegetal	60
3.4.2. Extracción del mucílago	60
3.4.3. Formulación de las películas	61
3.4.4. Recubrimiento de los cladodios de nopal verdura	61
3.4.5. Tratamientos y análisis estadístico	62
3.5. Resultados y Discusión.....	62
3.5.1. Pérdida de peso fresco	62
3.5.2. Cambios en color	64
3.5.3. Firmeza	66
3.5.4. pH, largo, ancho, diámetro basal y apical	68
3.6. Conclusiones.....	70
3.7. Bibliografía	70
ANEXOS	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Calidad del agua empleada para la preparación de la solución nutritiva.	28
Cuadro 1.2 Solución nutritiva estándar, fuentes y peso (g) de los nutrimentos comerciales para la preparación de la solución nutritiva.	29
Cuadro 1.3 Longitud de tallo (cm) durante el ciclo agrícola del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor.	30
Cuadro 1.4 Diámetro de tallo (mm) durante el ciclo agrícola del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor.	31
Cuadro 1.5 Número de botones florales durante el ciclo agrícola del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor.	32
Cuadro 1.6 Biomasa fresca y seca de tallos+hojas (g) del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor.	33
Cuadro 1.7 Biomasa fresca y seca de bulbos (g) del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor.	33
Cuadro 2.1 Apariencia de las varas florales de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha.	50
Cuadro 3.1 Índices de color obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Curva de crecimiento durante el ciclo agrícola del cultivo de <i>Lilium</i> asiático, cv. Tesor; T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m ⁻²	30
Figura 2.1 Pérdida de peso (g) por las varas florales de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película; Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).	47
Figura 2.2 Número de flores abiertas de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película.	49
Figura 2.3 Volumen promedio de agua gastado (mL) por varas florales (n=3) de <i>Lilium</i> asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película.	51
Figura 3.1 Pérdida de peso fresco (%) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar.	64
Figura 3.2 Valores de firmeza (N) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).	68
Figura 3.3 Valores de pH obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar.	69
Figura 3.4 Valores de los parámetros: a) largo (cm); b) ancho (cm); c) diámetro basal y d) apical (mm) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de	

80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar..... 70

RESUMEN

La presente investigación se dividió en tres etapas mismas que se realizaron en los Laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León: Laboratorio de Producción de Cultivos en Ambiente Controlado, Campus Marín y Laboratorio de Química y Bioquímica.

En la primera etapa el objetivo fue: evaluar el crecimiento del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor en un sistema hidropónico cerrado y con tres densidades de siembra: T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos m^{-2} respectivamente; las variables evaluadas fueron: longitud y diámetro de tallo, número de botones, biomasa fresca y seca total de tallo+hoja y bulbos; los resultados indicaron que las diferentes densidades de siembra no afectaron las variables evaluadas; esto debido a que en el sistema hidropónico cuenta con la disponibilidad de agua y nutrientes para cubrir la demanda de las plantas; cumpliéndose de esta manera con los parámetros de calidad para la comercialización de esta especie de *Lilium*.

En la segunda etapa se desarrollaron películas comestibles a base de polisacáridos de *Opuntia ficus-indica* y se evaluó su aplicación en las varas florales de *Lilium* asiático cv. Tesor producidas en la etapa uno con la finalidad de conservar y mantener la calidad comercial; las variables evaluadas fueron: pérdida de peso, número de flores, apariencia de la vara floral y volumen de agua gastado. De acuerdo con los resultados observados en esta etapa la aplicación de la película

preservó las condiciones iniciales de las varas florales, lo cual es importante para la comercialización de esta especie ornamental.

En la tercera etapa se evaluaron películas comestibles sobre la vida poscosecha de nopal verdura utilizando diferentes proporciones de mucílago 80 y 70 % (obteniendo tres tratamientos considerando el control). Los nopales se conservaron en refrigeración (4 °C/ 85 % HR) y se evaluó la pérdida de peso, cambios de color, firmeza, pH, largo, ancho, diámetro basal y apical. De acuerdo con los resultados, la aplicación de las películas comestibles es una alternativa viable para la conservación de productos hortofrutícolas, además de ser una tecnología sustentable de bajo costo; reduciendo así el uso de empaques no biodegradables.

INTRODUCCIÓN

En el estudio “Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo” realizado por la FAO se reportan los principales tipos de pérdidas de alimentos que proceden a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción agrícola inicial hasta el consumo final en los hogares (Gustavsson *et al.*, 2012). En términos generales, las pérdidas de alimentos están influenciadas por la toma de decisiones en cuanto a la elección sobre la producción de cultivos, la infraestructura y capacidad interna, las cadenas comerciales y los canales de distribución, así como por las compras de los consumidores y las prácticas de uso de alimentos. Las pérdidas de alimentos deben mantenerse al mínimo debido a que estas conllevan el desperdicio de recursos utilizados en la producción, como tierra, agua, energía e insumos (Parfitt *et al.*, 2010). La creciente demanda de alimentos de buena calidad e inocuos por parte de los consumidores, ha llevado a la comunidad científica a desarrollar nuevos sistemas de conservación que prolonguen la vida útil de los productos y que, al mismo tiempo, sean amigables con el ambiente, además de optimizar los sistemas de producción intensiva (hidroponía) los cuales proveen productos de mejor calidad en comparación con el sistema convencional (AHM, 2012). La protección de los productos se realiza con una mezcla de compuestos químicos sintéticos que no son completamente biodegradables. Una de las alternativas que más relevancia está cobrando, en los últimos años, es el recubrimiento comestible. Se trata de una película transparente

que envuelve al producto y que actúa de barrera frente a la humedad y al oxígeno; pudiendo ser utilizadas también como soporte de aditivos para conservar las propiedades del producto o mejorar su apariencia (Navarra, 2010).

El deterioro de los productos hortofrutícolas se debe a que son tejidos vivos que están sujetos a continuos cambios después de su cosecha; durante el almacenamiento, estos productos continúan respirando, es decir consumiendo oxígeno (O_2) y desprendiendo dióxido de carbono (CO_2). La relación de la velocidad de deterioro y de la respiración del producto es generalmente proporcional y teniendo en cuenta que las frutas y hortalizas también transpiran, es decir pierden agua, lo cual produce pérdidas importantes por deshidratación; por lo cual se reduce su vida poscosecha. La aplicación de recubrimientos mejora las propiedades mecánicas de los productos manteniendo paulatinamente la integridad estructural del mismo, retención de compuestos volátiles y al mismo tiempo llevar aditivos alimentarios (agentes antimicrobianos, antioxidantes, etc.). Cuando los productos hortofrutícolas son cubiertos con películas comestibles, se crea una atmósfera modificada en el interior del producto la cual disminuye la respiración y por tanto retrasa la senescencia, además, crean una barrera a la transferencia al vapor de agua, retrasando el deterioro por deshidratación (Pérez *et al.*, 2008; Arias, 2007; Cisneros y Krochta 2002; Tanada y Grosso 2005; Navarra, 2010; Strübing *et al.*, 2008; Appendini y Hotchkiss, 2002; Pérez y Río, 2000).

El nopal (*Opuntia* spp.) es uno de los alimentos de mayor importancia nutrimental humana en México. El contenido nutricional del nopal incluye minerales (calcio, hierro, magnesio, potasio, silicio, sodio y manganeso) y vitaminas A, B1, B2 y C;

además, es rico en fibra alimentaria (pectinas, mucílago, celulosa y hemicelulosas) soluble e insoluble (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta 2004). En poscosecha el cladodio de nopal es altamente perecedero una vez desespinado, su deterioro biótico y abiótico generalmente es acelerado e irreversible, al principio disminuye la calidad del producto y finalmente culmina con su pérdida total, en promedio no más de una semana, sin evitar su oscurecimiento lo cual demerita su comercialización (Corrales y Flores, 2003); el oscurecimiento del nopal desespinado es provocado por la oxidación de los lípidos de la membrana, ácidos nucleicos y otras moléculas (Shi, 2015). Los nopales son conservados después de la cosecha con algunas técnicas que incluyen su cocción o escaldado, lo cual casi no se consume (3 %), debido a que su demanda es principalmente como producto fresco desespinado (97 %) (SAGARPA, 2016).

Debido a su composición, el nopal tiene alto contenido de polisacáridos, de composición variada y con características físico-químicas diversas, resulta una materia prima interesante para extraerlos y usarlos solos o mezclados en la formación de películas comestibles, e incrementar la vida de anaquel tanto de los mismos nopalitos, como de otros productos hortícolas y frutos (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta 2004).

La floricultura en México es una actividad agropecuaria que se ve beneficiada por la amplia y variada gama de climas presentes en el país así como la fertilidad de sus suelos los cuales permiten la producción de una gran variedad de flores, mismas que se comercializan mayormente en el mercado interno (TecM, 2011). En México se cultivan aproximadamente 22 mil 700 ha de superficie de cultivos ornamentales, se

estima el valor de mercado de la flor de corte a nivel de consumo de 14,000 millones de pesos (ACO, 2018; SAGARPA, 2009). En el país, aproximadamente 25,500 productores de flores generan un valor de producción de 5,445 millones de pesos, quienes generan en el mercado ornamental alrededor de 188,000 empleos permanentes, 50,000 eventuales y un millón indirectos (Torres, 2014). Alrededor de 90 % de la producción nacional se destina a los mercados nacionales y el resto es enviado a los mercados internacionales. En el país se cultivan más de 70 variedades de flor de corte y follaje concentrando el 90 % de la superficie en 5 estados del país, Estado de México, Morelos, Puebla, Veracruz y Michoacán. Las principales especies cultivadas son las rosas, gladiolas, claveles, crisantemos y *Lilium* spp.; se estiman que representan el 50 % de la superficie cultivada con un valor de casi 80 % del valor de la producción (SAGARPA, 2009). Chaín *et al.* (2002) mencionan que la duración en poscosecha de los cultivos ornamentales en general está fuertemente influenciada por factores genéticos, agronómicos y ambientales. Por tal motivo para obtener un producto de alta calidad, deben regularse todos y cada uno de ellos. Al describir un producto de calidad bajo términos de la floricultura no sólo se considera la flor, sino toda la planta completa, ya que al momento de comercializarla se hace en conjunto, es decir flores, hojas y tallos.

La calidad de la flor no se mejora con el manejo poscosecha, más bien se mantiene o puede deteriorarse si no se manipula adecuadamente. Sean cortados o intactos, los productos ornamentales son complejos órganos vegetales en los que la pérdida de calidad de los tallos, hojas o partes florales llevan al rechazo por parte del mercado. En algunas ornamentales como son las del género *Lilium* la pérdida de

calidad puede ser el resultado del marchitamiento o caída de las hojas y/o los pétalos, decoloración de las hojas, o las torceduras geotrópicas de los tallos, lo cual demerita su comercialización. Cuando se toman en cuenta todos los factores que afectan la vida de las ornamentales y las herramientas para extenderla, es importante en primera instancia comprender las diversas causas de la pérdida de calidad, para poder así contrarrestarlas (Reid, 2009).

HIPÓTESIS

El uso de las películas comestibles elaboradas a base de polisacáridos de nopal prolonga la vida poscosecha debido a que actúan de barrera frente a la humedad y al oxígeno del ambiente ayudando a conservar las propiedades iniciales de los productos, por lo tanto mantendrá la estabilidad, la calidad y la vida poscosecha de *Lilium asiático* y *Opuntia ficus-indica*.

Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de la película elaborada a base de polisacáridos de nopal sobre la calidad y vida poscosecha de *Lilium asiático* y *Opuntia ficus-indica* cultivados en condiciones de hidroponia.

Objetivos Específicos

1. Estimar la influencia de tres densidades de población sobre el crecimiento de *Lilium asiático* cultivado en un sistema hidropónico.
2. Evaluar parámetros de calidad comercial y vida poscosecha de las varas florales de *Lilium asiático* con la aplicación de la película a base de polisacáridos de nopal.
3. Estimar el efecto de la aplicación de la película a base de polisacáridos de nopal sobre la vida poscosecha de nopal verdura.

Capítulo 1 Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y calidad comercial de *Lilium* asiático cv. Tesor cultivado bajo condiciones de hidroponia

1.1. Resumen

En nuestro país existe un gran interés por la producción de ornamentales de corte y uno de los cultivos a los que se les está prestando más interés es al cultivo de *Lilium* spp. debido a que es una de las especies de mayor importancia económica en el ramo florícola. La comercialización de las flores depende de parámetros de calidad y para cumplir con estos se debe tener un buen manejo en el sistema de producción, además de tener un buen manejo poscosecha. El cultivo de *Lilium* en condiciones ambientales y nutricionales óptimas tendrá incrementos en su calidad; mismo que se acentúa con el uso de tecnología hidropónica donde se tiene una eficiente absorción de nutrientes, disponibilidad de agua, reducción del uso de plaguicidas, permitiendo la producción más rentable. El objetivo de esta investigación fue: evaluar el crecimiento del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor en un sistema hidropónico cerrado y con tres densidades de siembra: T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos m⁻² respectivamente. Los resultados promedio de las variables evaluadas fueron: longitud (73.2, 72.2, 72.0 cm) y diámetro de tallo (11.6, 11.0, 11.5 mm), número de botones (6.2, 6.8, 7.1), biomasa fresca total de tallo y hoja (112.3, 118.0, 112.9 g) y biomasa fresca de bulbo inicial y final (43.5, 46.1, 44.5; 28.1, 27.5, 24.3 g); para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente. Los resultados indicaron que las diferentes densidades de siembra no afectaron las variables evaluadas; esto debido a que en el sistema hidropónico cuenta con la disponibilidad de agua y nutrientes

para cubrir la demanda de las plantas; cumpliéndose de esta manera con los parámetros de calidad para la comercialización de esta especie de *Lilium*.

Palabras clave: Sistema de producción, comercialización, ornamentales de corte, calidad.

1.2. Abstract

In our country there is a great interest in the production of ornamental cut and one of the crops that are being given more interest is the cultivation of *Lilium* spp. because it is one of the most economically important species in the flower industry. The commercialization of flowers depends on quality parameters and in order to comply with these, a good management must be had in the production system, in addition to having a good postharvest handling. The cultivation of *Lilium* under optimal environmental and nutritional conditions will have increases in its quality; same that is accentuated with the use of hydroponic technology where there is an efficient absorption of nutrients, availability of water, reduction of the use of pesticides, allowing the most profitable production. The objective of this investigation was: to evaluate the growth of the cultivation of Asian *Lilium*, cv. Tresor in a closed hydroponic system with three planting densities: T1: 60, T2: 80 and T3: 100 m⁻² bulbs respectively. The average results of the variables evaluated were: length (73.2, 72.2, 72.0 cm) and stem diameter (11.6, 11.0, 11.5 mm), number of buttons (6.2, 6.8, 7.1), total fresh biomass of stem and leaf (112.3, 118.0, 112.9 g) and fresh biomass of initial and final bulb (43.5, 46.1, 44.5, 28.1, 27.5, 24.3 g); for treatments T1, T2 and T3 respectively. The results indicated that the different densities of seeding did not

affect the variables evaluated; this because in the hydroponic system it has the availability of water and nutrients to cover the demand of the plants; thus fulfilling the quality parameters for the commercialization of this species of *Lilium*.

Keywords: Production system, commercialization, ornamental cutting, quality.

1.3. Introducción

La inclusión del mercado floral en el mundo ha tenido una gran demanda en los últimos años, esto se debe principalmente al desarrollo económico de las naciones. En términos del mercado internacional, ésta demanda se concentra principalmente en tres regiones: Europa Occidental, América del Norte y Asia. La producción mundial de flores ocupa más de 190,000 ha, alcanzando un valor de más de 16,000 millones de \$US. Los principales países productores son Estados Unidos de América, Japón y Holanda (Facchinetti y Marinangeli, 2008; FCH, 2010). El consumo actual de flores y plantas ornamentales se prevé que continuará creciendo, ya que la población mundial y el poder adquisitivo de los consumidores también aumentarán (Foshi, 2012).

En México la amplia y variada gama de climas así como la calidad de los suelos permiten la producción de una gran variedad de flores, las cuales se comercializan mayormente en el mercado interno (Orozco-Hernández *et al.*, 2003; TecM, 2011). Alrededor de 90 % de la producción nacional se destina a los mercados nacionales y el resto es enviado a los mercados internacionales (Hernández, 2007; SAGARPA, 2012; AMEHOAC, 2013; Torres, 2014). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Flor, la superficie total de producción florícola es de aproximadamente 16,267.06 ha;

el Estado de México cuenta con una participación total de la superficie de producción del 36.83 %, seguido por los estados de Puebla y Morelos con el 22.7 y 10.0 %, respectivamente (Gómez-Gómez, 2010; SAGARPA, 2012). En el país se cultivan más de 70 variedades de flor de corte y follaje; las principales especies cultivadas son las rosas (*Rosa* spp.), gladiolas (*Gladiolus* spp.), claveles (*Dianthus caryophyllus*), crisantemos (*Chrysanthemum* spp.) y lilis (*Lilium* spp.); se estiman que representan el 50 % de la superficie cultivada con un valor de casi 80 % del valor de la producción (SAGARPA, 2009).

Lilium spp. es una de las especies de importancia económica en la producción de flor de corte, ocupando el quinto lugar en cuanto al valor a la producción en el ramo florícola (Ramírez y Benavides 2003). La comercialización depende de su calidad, que se determina por el tamaño del tallo, la forma, el color, la calidad sanitaria y la calidad poscosecha. Para lograr la calidad de flor que exige el mercado es necesario tener un buen manejo durante el periodo de producción el cual consiste en: nutrición de acuerdo al tipo de flor, control eficiente de plagas y enfermedades y control de condiciones climáticas; además de tener un buen manejo poscosecha (Cruz *et al.*, 2006).

En el manejo del cultivo de *Lilium* la densidad de siembra por metro cuadrado depende de la especie, el calibre del bulbo y de la época de plantación; en épocas de menor luminosidad se sugiere emplear densidades menores y en épocas de mayor luminosidad, densidades mayores. Generalmente la densidad de siembra para este cultivo en suelo para todos los casos es de hasta: 80 bulbos·m⁻² (calibre 10/12), 60 a

70 bulbos·m⁻² (calibre 12/14) y 50 a 60 bulbos·m⁻² (calibre 14/16); bajo condiciones hidropónicas la densidad puede ser de hasta 100 bulbos·m⁻² (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2016). Alberto, (2012), menciona que la planta de *Lilium* desarrollada en condiciones ambientales y nutricionales óptimas tendrá bulbos de mayor tamaño, aumentando la longitud y calidad de las varas florales; este incremento se acentúa con el uso de sistemas de producción intensiva como la hidroponía donde se tiene una eficiente absorción de nutrientes, disponibilidad de agua, reducción del uso de plaguicidas, haciendo la producción más rentable; cabe mencionar que hay escasa literatura sobre la producción de *Lilium* en sistemas hidropónicos (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009). En algunas ornamentales como son las del género *Lilium* la pérdida de calidad puede ser el resultado del marchitamiento o caída de las hojas y/o los pétalos, decoloración de las hojas, o las torceduras geotrópicas de los tallos, lo cual demeritan su comercialización (Reid, 2009). De acuerdo con lo anterior el objetivo de esta investigación fue: evaluar el efecto de tres densidades de siembra sobre el crecimiento del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor en un sistema hidropónico cerrado.

1.4. Materiales y Métodos

1.4.1. Análisis de calidad de agua

Se hizo una colecta de un litro de agua de pozo del Campus Marín, posteriormente en análisis de la muestra se realizó en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Facultad de Agronomía, Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, siguiendo las metodologías reportadas por Rodríguez y Rodríguez (2015);

determinando el contenido de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), carbonatos (CO_3^{2-}), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}) y sodio (Na^+).

1.4.2. Cálculo y preparación de solución nutritiva

La solución nutritiva empleada para la nutrición del cultivo de *Lilium* fue la reportada por Rodríguez-Fuentes *et al.* (2016). Los requerimientos de las fuentes empleadas para cubrir la demanda nutricional de la solución se calcularon mediante el Software Hidroponia 2010 versión 14.7 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León; estos para un volumen de 2000 L y considerando la calidad del agua. Para la preparación de la solución nutritiva se disolvieron las fuentes que contenían a los macronutrientes en un recipiente de 20 L y se aplicaron al agua, se midió el pH (7.4) y se estabilizó a un pH de 5-5.5 con la aplicación de H_2SO_4 (250 mL); posteriormente se aplicaron los micronutrientes en solución (200 mL).

1.4.3. Siembra de los bulbos de *Lilium* asiático

Se realizó en el Laboratorio de Producción de Cultivos en Ambiente Controlado de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, utilizando como material biológico *Lilium* asiático, cv. Tesor (calibre 14-16), adquiridos de una empresa comercial. El cultivo se estableció en un bancal de concreto (1.10 m x 14 m x 0.20 m) el cual contiene sustrato tezontle ó piedra volcánica, el cual fue esterilizado con una solución de ácido sulfúrico, amortiguada a pH 3, posteriormente se enjuago con agua limpia. El bancal tiene un sistema de drenaje conectado a una cisterna (2000 L) que permite, drenar por gravedad y

reciclar la solución nutritiva. Las densidades de siembra empleadas fueron: T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻², cada tratamiento contó con 5 repeticiones, teniendo como unidad experimental (0.5 m²), la superficie total de siembra fue de 7.5 m² un total de 600 bulbos.

1.4.4. Medición de variables fenológicas

Con el fin de evaluar el crecimiento del cultivo se hicieron 4 muestreos destructivos (15, 30, 45 y 55 días después del trasplante (DDT)) con un total de 10 plantas por tratamiento evaluando las siguientes variables fenológicas: longitud de tallo (flexómetro), diámetro de tallo (vernier digital, Modelo IP65 0-1", Mitutoyo America Corporation, USA), peso fresco y seco de tallos/hojas y bulbos (balanza electrónica, Modelo VE-1000, Velab Scientific, EUA).

1.4.5. Análisis estadístico

Se realizó para los datos obtenidos de las variables evaluadas mediante un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar. Se utilizó el software InfoStat 2017 versión 2017.1.2.

1.5. Resultados y Discusión

1.5.1. Calidad de agua

El contenido de aniones y cationes que se determinaron se presenta en el Cuadro 1.1 de acuerdo con los resultados del análisis de agua y con la clasificación de las aguas con fines de riego para cultivos agrícolas esta agua se clasifica como un agua altamente salina (CE 2.12 mS·cm⁻¹) (Ayers y Westcot, 1985), baja en sodio, con un

contenido de Na residual que la clasifica como agua de clase buena, conforme a la clasificación de salinidad efectiva, salinidad potencial y porcentaje de sodio probable es un tipo de agua condicionada y de acuerdo al contenido de cloruros es una agua no recomendable. Para la determinación del contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), la muestra no presentó un cambio de coloración por lo tanto la concentración de carbonatos fue igual a cero.

Cuadro 1.1 Calidad del agua empleada para la preparación de la solución nutritiva.

Cationes	Concentración (*$\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$)	Aniones	Concentración (*$\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$)
Ca^{2+}	7.7	SO_4^{2-}	11.6
Mg^{2+}	5.2	CO_3^{2-} y HCO_3^-	2.1
Na^+	8.3	Cl^-	7.6

* $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ = miliequivalentes por litro de agua.

1.5.2. Cálculo de la solución nutritiva

Los cálculos obtenidos del Software Hidroponia 2010 versión 14.7 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, para cubrir la demanda de la solución nutritiva reportada por Rodríguez-Fuentes *et al.* (2016) se muestran en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2 Solución nutritiva estándar, fuentes y peso (g) de los nutrimentos comerciales para la preparación de la solución nutritiva.

Elemento	Concentración (mg L ⁻¹)	Fuente	Peso (g)
N	200	-----	-----
P	60	NH ₄ H ₂ PO ₄	445.63
K	250	KNO ₃	1292.95
Ca	200	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	538.43
Mg	50	Mg(NO ₃) ₂	0
S	100	H ₂ SO ₄	0
Fe	0.5	FeSO ₄ ·7H ₂ O	4.97
Mn	0.25	MnSO ₄ ·H ₂ O	1.52
B	0.25	H ₃ BO ₃	0
Cu	0.03	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.15
Zn	0.25	ZnSO ₄ ·H ₂ O	1.37
Mo	0.01	Na ₂ MoO ₄	0.05

1.5.3. Medición de variables fenológicas

1.5.4. Longitud y diámetro de tallo

De acuerdo con los datos de longitud de tallo el cultivar “Tresor” se ajustó una curva de crecimiento simple sigmoide en los tres tratamientos (Figura 1.1); esto debido a su progresión temporal durante el ciclo agrícola; este resultado es similar a lo observado en el cultivar “Brindisi” reportado por Torres *et al.* (2009). Las normas de calidad para esta especie de *Lilium* según el reglamento (CEE) n° 316/68 se basan en la longitud del tallo y el número de botones, mismas que las clasifican en: Extra (60 cm/4 ó más flores), Primera (50 cm/3 flores) y Segunda (40 cm/2 flores) (Herrerros, 1983; IBC, 2010); los resultados encontrados para esta variable sobrepasan la norma de calidad Extra.

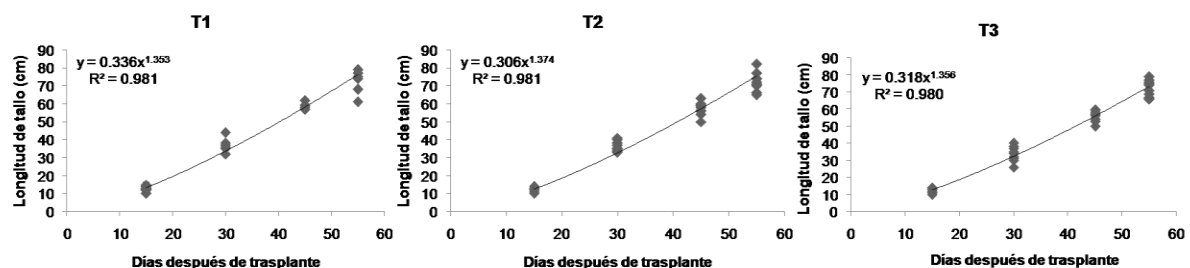


Figura 1.1 Curva de crecimiento durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor; T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻².

Conforme al análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos, la longitud promedio obtenida en esta investigación fue de T1: 73.2±5.8, T2: 72.2±5.0, y T3: 72.0±4.8 cm (Cuadro 1.3) estos resultados no concuerdan con de lo observado por Alberto y Sánchez (2012), en el cultivar “Levi” con una altura promedio de 55 cm y Giri *et al.* (2017) con 66.6 cm en el cultivar “Tesor”, esto posiblemente por el uso de bajas concentraciones en los minerales empleados para la nutrición del cultivo; al mismo tiempo son similares con lo reportado por de Torres *et al.* (2009) en el cultivar “Brindisi” con una altura promedio de 75.1 cm y Seyedi *et al.* (2013) con 72.8 cm en el cultivar “Tesor” los cuales emplearon dosis más altas de minerales.

Cuadro 1.3 Longitud de tallo (cm) durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

DDT*	T1	T2	T3
15	12.8±1.4	12.2±1.2	12.4±1.3
30	35.9±3.6	36.1±2.8	33.8±4.2
45	58.8±1.9	57.4±3.6	55.7±3.1
55	73.2±5.8	72.2±5.0	72.0±4.8

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻²; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10). Nota: De acuerdo con el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

El diámetro de tallo no es un parámetro que entre en las normas de calidad para este cultivo, aunque si es de suma importancia para seguir transportando agua y nutrientes, además que asegura mayor resistencia para el soporte de la flor (Flores *et al.*, 2005). El diámetro promedio de los tratamientos fue: T1: 11.6, T2: 11.0 y T3: 11.5 mm (Cuadro 1.4), no encontrando diferencia significativa entre tratamientos; estos datos son similares a los encontrados por Betancourt-Olvera *et al.* (2005) en el cultivar “Stargazer” observando un diámetro promedio de 9.82 mm; esto quizás fue debido a la similitud en la dosis de nutrición suministrada en el cultivo; agregando que en el sistema de producción del cultivo no se tuvieron restricciones de nutrientes, agua y luz.

Cuadro 1.4 Diámetro de tallo (mm) durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

DDT*	T1	T2	T3
15	13.3±1.0	13.4±1.4	13.1±1.0
30	11.5±1.1	12.4±0.8	11.7±1.2
45	10.8±1.3	10.9±0.9	11.4±1.4
55	11.6±1.0	11.0±1.2	11.5±0.9

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻²; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10). Nota: De acuerdo con el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

1.5.5. Número de botones

El número de botones promedio fue de T1: 6.2, T2: 6.8 y T3: 7.1 (Cuadro 1.4) no encontrando diferencia significativa entre tratamientos, de acuerdo con el manual de producción agrícola (Ortiz, 2013) para esta especie de *Lilium* fue superior al promedio que es de 2 a 4 botones para el calibre de bulbo 14/16; además de cumplir con la norma de calidad Extra (4 ó más flores) de acuerdo con el reglamento (CEE)

nº 316/68. Estos resultados posiblemente se presentaron por la aplicación de la solución nutritiva la cual tiene los requerimientos óptimos nutricionales para el cultivo; además a la no competencia por nutrientes y agua que el sistema hidropónico proporciona (Alberto, 2012).

Cuadro 1.5 Número de botones florales durante el ciclo agrícola del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

DDT*	T1	T2	T3
45	5.7±1.5	5.3±1.3	5.5±1.3
55	6.2±1.5	6.8±0.8	7.1±0.7

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻²; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10). Nota: De acuerdo con el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

1.5.6. Biomasa fresca y seca de tallo-hojas y bulbos

La biomasa fresca es considerada como parte del crecimiento el cual está definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta (Di Benedetto & Tognetti, 2016). El promedio de la biomasa fresca para cada uno de los tratamientos se puede observar en el Cuadro 1.6, no encontrando diferencia significativa entre tratamientos, asimismo puede observarse el comportamiento del peso del bulbo a través del tiempo (Cuadro 1.7), no encontrando diferencia significativa entre tratamientos; el peso va disminuyendo al transcurrir los días esto debido a la relación fuente-demanda entre los diversos órganos de la planta (Medina, 2011).

Con referencia a la biomasa seca de tallos-hojas y bulbos tenemos que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 1.6 y Cuadro 1.7); el peso seco de los bulbos durante las primeras semanas fue mayor que el peso seco

de la parte aérea, lo cual se debe al contenido de nutrimentos que como órgano de reserva presenta al inicio del cultivo (Betancourt *et al.*, 2005); al transcurso de las semanas, el peso seco de los bulbos disminuyó, mientras que el de la parte aérea fue en aumento, esto debido a la translocación de nutrimentos que ocurre desde el bulbo hacia la parte aérea (Artacho y Pinochet 2008; Toit *et al.* 2004; Correa, 2003).

Cuadro 1.6 Biomasa fresca y seca de tallos+hojas (g) del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

DDT*	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
15	18.2±2.6	18.8±3.2	19.3±3.8	1.78±0.2	1.88±0.3	1.95±0.3
30	45.5±12.1	51.8±8.4	43.8±10.3	4.74±1.2	5.39±0.8	5.52±1.3
45	72.5±15.6	67.9±11.6	73.9±17.2	8.22±1.2	8.13±2.2	8.22±1.7
55	112.3±17.2	118.0±26.5	112.9±16.7	12.84±2.3	13.47±2.9	13.33±1.7

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻²; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10). Nota: De acuerdo con el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Cuadro 1.7 Biomasa fresca y seca de bulbos (g) del cultivo de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

DDT*	Peso fresco (g)			Peso seco (g)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
15	43.5±7.7	46.1±7.5	44.5±8.7	8.18±2.0	8.65±1.4	8.22±1.7
30	40.9±6.5	40.4±6.6	36.0±6.4	5.98±1.3	4.68±1.0	4.85±1.4
45	32.3±6.5	31.5±8.1	31.1±5.5	4.41±1.6	4.10±0.8	4.43±1.7
55	28.1±4.4	27.5±6.4	24.3±3.0	3.93±0.9	4.21±1.6	3.44±0.5

T1:60, T2:80 y T3:100 bulbos·m⁻²; DDT*= Días después del trasplante; (media±DS, n=10). Nota: De acuerdo con el ANOVA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

1.6. Conclusiones

Las diferentes densidades de siembra para esta especie de *Lilium* no afectan ninguna de las variables evaluadas, las cuales son parámetros importantes para su

comercialización debido al uso del sistema hidropónico y la solución nutritiva empleada, por lo que el sistema hidropónico es una alternativa viable para la producción de esta especie.

1.7. Bibliografía

1. Alberto, V.A. (2012). Efecto del suministro de calcio en el desarrollo de la planta y calidad de la flor *Lilium* spp. tipo asiático, cultivada en hidroponía. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
2. Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(2), 113-126.
3. Arias, C. (2007). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*.
4. Artacho-Vargas, P., & Pinochet-Tejos, D. (2008). Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo del tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia*, 42(1), 37-45.
5. Asociación de Consumidores Orgánicos (ACO). (2018). México, tercer lugar en cultivo de flores. [Consultado Febrero 2019]. Disponible en: <https://consumidoresorganicos.org/2018/10/10/mexico-tercer-lugar-en-cultivo-flores/>
6. Asociación Hidropónica Mexicana (AHM). (2012). Ventajas de la hidroponía. [Consultado abril 2016]. Disponible en: <http://hidroponia.org.mx/cultivo-hidroponico/ventajas-de-la-hidroponia/>
7. Asociación Mexicana de Horticultura Ornamental A.C. (AMEHOAC). (2013). XIV Congreso nacional y VII Internacional de horticultura ornamental. 21-26 de octubre de 2013. Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo. México.
8. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
9. Betancourt-Olvera, M., Rodríguez-Mendoza, M. N., Sandoval-Villa, M., & Gaytán-Acuña, E. A. (2005). Fertilización foliar una herramienta en el desarrollo del cultivo de *Lilium* cv. Stargazer. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 11(2), 371-378.
10. Chaín, A.M.G., Verdugo, R.G., & Montesinos, V.A. (2002). Manejo de poscosecha de flores. Centro Regional de Investigación Carillanca del Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Temuco, Chile.

11. Cisneros-Zevallos, L., & Krochta, J. M. (2002). Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: Understanding relative humidity effects. *Journal of Food Science*, 67(6), 1990-1995.
12. Corrales García, J., & Flores Valdez, C. A. (2003). Nopalitos y tunas: producción, comercialización, poscosecha e industrialización (No. 634.775 C823n). CIESTAM-Programa Nopal. Universidad Autónoma Chapingo, México.
13. Correa, M. (2003). Caracterización de los estados de desarrollo y determinación de las curvas de absorción de nutrientes en *Lilium* sp. Cvs. Miami, Navona y Fangio para flores de corte. Tesis Mag. Sc. Santiago, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
14. Cruz-Crespo, E., Arévalo-Galarza, L., Cano-Medrano, R., & Gaytán-Acuña, E. A. (2006). Soluciones pulso en la calidad poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv.'echo blue'. *Agricultura Técnica en México*, 32(2), 191-200.
15. Curiel, R.A., Espinoza, E.J., Cruz, H.J. & Almaguer, V.G. (2007). Modelos de regresión para estimar área de la hoja y biomasa de órganos en árboles jóvenes de manzano. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 13(2):171-177.
16. Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282.
17. Facchinetti, C., & Marinangeli, P. (2008). Avances en la producción nacional de bulbos de lilium. *AgroUNS*, 5(9), 5-9.
18. Flores, J.L., Becerril, A.E., González, H.V.A., Tijerina, C. & Vásquez, R.T. (2005). Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema x grandiflorum* (Rama) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 11(2):241-449.
19. Flower Council of Holland (FCH). (2010). [Consultado marzo 2018]. Disponible en: http://www2.flowercouncil.org/int/holland/market_vision/
20. Foshi, M.L. (2012). Introducción a la floricultura. [Consultado mayo 2018]. Disponible en: http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/11262/mod_resource/content/0/Flores_Introduccion.pdf
21. Giri, T. K., Beura, S., Behera, S., & Acharjee, S. (2017). Response of Asiatic *Lilium* Hybrid cv. Tesor to Foliar Application of Different Group of Nutrients. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 3280-3286.

22. Gómez-Gómez, A. A. (2010). La situación de las flores de corte mexicanas dentro de la política comercial internacional de México. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Económico Administrativas, 2(9).
23. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2012). Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Alcances, causas y prevención. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-307205-7.
24. Hernández, M. E. O. (2007). Between local and global competitiveness: commercial floriculture in the State of Mexico. *Convergencia*, 45, 100-150.
25. Herreros, D. L. M. (1983). Cultivo de *Lilium*. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España.
26. International Flower Bulb Centre (IBC). (2010). [Consultado abril 2018]. Disponible en: <http://flowers.flowers-expo.com/flowers2010/en/358.html>
27. Medina, G. C. (2011). Dinámica de la absorción nutrimental y su relación con la fertilización interrumpida en *Lilium* sp. cultivado en un sistema hidropónico de recirculación. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.
28. Navarra. (2010). Los recubrimientos comestibles se convertirán en los envases del futuro. Solo ciencia. [Consultado marzo 2016]. Disponible en: <http://www.solociencia.com/ingenieria/06080403.htm>
29. Orozco-Hernández, M. E., Mendoza Martínez, M., & María Estela Orozco Hernández, M. M. (2003). Competitividad local de la agricultura ornamental en México. (No. 300). e-libro, Corp.
30. Ortiz, L. (2013). Manual técnico para la producción de *Lilium*. [Consultado marzo 2019]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/137797645/Manual-para-la-produccion-de-Lilium-spp#scribd>
31. Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste with in food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065-3081.
32. Peña-Valdivia, C. B., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2004). Polisacáridos de nopalito y tuna. In Memorias del X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal y otras Cactáceas de Valor Económico. Universidad Autónoma Chapingo (pp. 22-43).
33. Pérez, G. & Río, M.D. (2000). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Centro de poscosecha. Valencia, España.
34. Pérez-Gago, M., del Río, M. A., & Rojas-Argudo, C. (2008). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Centro de Poscosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). *Revista Horticultura*, 207, 54-57.

35. Ramírez, H., & Benavides, A. (2003). Horticultural science and industry in Mexico—an overview. *Chronica Horticulturae*, 43(3), 20-25.
36. Reglamento (CEE) nº 316/68 del Consejo, de 12 de marzo de 1968, por el que se establecen normas de calidad de las flores cortadas frescas y los follajes frescos. [Consultado Febrero 2019]. Disponible en: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f3b379a0-0843-4f50-9de4-08c6f4da2f28/language-es>
37. Reid, M. S. (2009). Poscosecha de las flores cortadas-manejo y recomendaciones. U.C. Davis, EUA. Hortitecnia Ltda.
38. Rodríguez Fuentes, H., Rodríguez Absi, J., Almaguer Sierra, P., & Rodríguez Ortiz, J. C. (2011). Cultivo hidropónico del nopal (No. 635.048585 C8).
39. Rodríguez Fuentes, H., Rodríguez Ortiz, J. C., Vidales Contreras, J. A., & Luna Maldonado, A. I. (2016). Cultivo hidropónico de *Lilium* (Azucena): para flor de corte y en maceta (No. 631.585 C968c). : TRILLAS.
40. Rodríguez, H., & Rodríguez, J. (2015). Métodos de análisis de suelo y plantas. Criterios de interpretación. *Editorial Trillas*. ISBN 968-24-6596-6.
41. Rodríguez-Fuentes, H., Vidales-Contreras, J., Acuña-Askar, K., Aranda-Ruíz, J., López Jiménez, M. A., & Rodríguez-Ortiz, J. C. (2008). Growth, mineral uptake and stem elongation of *Lilium* spp. as a function of plant density. In *International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 843* (pp. 81-88).
42. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Garantizada la disponibilidad de flores para cubrir la demanda nacional. Boletín informativo. Delegación en el Distrito Federal Comunicación Social. México.
43. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). La infraestructura y sistemas requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la exportación de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá. [Consultado marzo 2018]. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/or_namental.pdf
44. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2016). Plan rector. Sistema producto nacional nopal. [Consultado marzo 2019]. Disponible en: http://www.inforural.com.mx/IMG/pdf/prn_nopal.pdf
45. Seyedi, N., Mohammadi, T. A., & Allahyari, M. S. (2013). Investigating of the effects of calcium concentration under hydroponic conditions on quantitative and qualitative growth of *Lilium* Tresor. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 3 (1) 19-24.

46. Shi, J. (2015). Functional food ingredients and nutraceuticals: processing technologies (Vol. 13). CRC Press. EE.UU. 427p.
47. Strübing, S., Metz, H., & Mäder, K. (2008). Characterization of poly (vinyl acetate) based floating matrix tablets. *Journal of Controlled Release*, 126(2), 149-155.
48. Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2), 199-208.
49. Tecnológico de Monterrey (TecM). 2011. Estado de México hacia una identidad de conocimiento, el desarrollo tecnológico y la innovación, con ventajas comparativas y competitivas para las empresas, los negocios y el bienestar social. Estudio sectorial flores y horticultura ornamental. México.
50. Toit, E. S., Robbertse, P. J., & Niederwieser, J. G. (2004). Plant carbohydrate partitioning of *Lachenalia* cv. Ronina during bulb production. *Scientia Horticulturae*, 102(4), 433-440.
51. Torres Miranda, E., Morales Rosales, E. J., & Pérez López, D. D. J. (2009) Vida en florero de *Lilium* "Brindisi" y "Menorca" fertilizados con nitrato y oxido de calcio. *Ciencias Agrícolas Informa*, 18, 4-12.
52. Torres, L.R. (2014). Floricultura mexicana: Gran industria en el anonimato. [Consultado mayo 2018]. Disponible en: <http://tierrafertil.com.mx/floricultura-mexicana-gran-industria-en-el-anonimato/>

Capítulo 2 Efecto de la cubierta a base de polisacáridos de *Opuntia ficus-indica* sobre la vida poscosecha de *Lilium* asiático cv. Tesor

2.1. Resumen

Existe un gran interés por la producción de ornamentales de corte y uno de los cultivos a los que se les está prestando más interés es al cultivo de *Lilium* spp. debido a que es una de las especies de mayor importancia económica en el ramo florícola. La comercialización de las flores depende de muchos parámetros de calidad y para cumplir con estos se debe tener un buen manejo en el sistema de producción, además de tener un buen manejo poscosecha, alternando las nuevas tecnologías emergentes para lograr tener la calidad que el mercado demanda. Una de las alternativas que más relevancia está cobrando, en los últimos años, es el recubrimiento o película comestible (PC), se trata de una película transparente que envuelve al producto y que actúa de barrera frente a la humedad y al oxígeno; para conservar las propiedades iniciales del producto o mejorar su apariencia. El objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación de una película a base de polisacáridos de nopal para conservar y mantener la calidad comercial de las varas florales de *Lilium* asiático cv. Tesor. Las variables evaluadas fueron: pérdida de peso, número de flores, apariencia de la vara floral y volumen de agua gastado. De acuerdo con los resultados observados en esta investigación la aplicación de la película preservó las condiciones iniciales de las varas florales reduciendo la pérdida de peso, número de flores abiertas y volumen de agua gastado, además de conservar la buena apariencia de las mismas, lo cual es importante para la comercialización de esta especie ornamental.

Palabras clave: Película comestible, comercialización, ornamentales de corte, calidad.

2.2. Abstract

There is a great interest in the production of ornamental cut and one of the crops that are being given more interest is the cultivation of *Lilium* spp. because it is one of the most economically important species in the flower industry. The commercialization of the flowers depends on many parameters of quality and to comply with these must have a good management in the production system, in addition to having a good postharvest handling, alternating new emerging technologies to achieve the quality that the market demands. One of the alternatives that is more important, in recent years, is the coating or edible film (PC), it is a transparent film that surrounds the product and acts as a barrier against moisture and oxygen; to preserve the initial properties of the product or improve its appearance. The objective of this research was to evaluate the application of a film based on cactus polysaccharides to conserve and maintain the commercial quality of the floral wands of Asian *Lilium* cv. Tresor. The variables evaluated were: weight loss, number of flowers, appearance of the floral wand and volume of water spent. According to the results observed in this investigation, the application of the film preserved the initial conditions of the floral varas, reducing the weight loss, number of open flowers and volume of water spent, as well as preserving the good appearance of the same, which It is important for the commercialization of this ornamental species.

Keywords: Edible film, commercialization, ornamental cutting, quality.

2.3. Introducción

La inclusión del mercado floral en el mundo ha tenido una gran demanda en los últimos años, esto se debe principalmente al desarrollo económico de las naciones. En términos del mercado internacional, ésta demanda se concentra principalmente en tres regiones: Europa Occidental, América del Norte y Asia.

En México la amplia y variada gama de climas así como la fertilidad de los suelos permiten la producción de una gran variedad de flores, las cuales se comercializan mayormente en el mercado interno y la menor parte se exporta (Ramírez-Hernández y Avitia-Rodríguez, 2017; Tejeda-Sartorius *et al.*, 2015; TecM, 2011; Orozco-Hernández *et al.*, 2003). En el país se cultivan más de 70 variedades de flor de corte y follaje; las principales especies cultivadas son las rosas (*Rosa* spp.), gladiolas (*Gladiolus* spp.), claveles (*Dianthus caryophyllus*), crisantemos (*Chrysanthemum* spp.) y lilis (*Lilium* spp.); se estiman que representan el 50 % de la superficie cultivada con un valor de casi 80 % del valor de la producción (ACO, 2018; SAGARPA, 2009). *Lilium* spp. es una de las especies de importancia económica en la producción de flor de corte, ocupando el quinto lugar en cuanto al valor a la producción en el ramo florícola (Ramírez y Benavides 2003).

La comercialización de las flores depende de su calidad, que se determina por el tamaño del tallo, la forma, el color, la calidad sanitaria y la calidad poscosecha. Para lograr la calidad de flor que exige el mercado es necesario tener un buen manejo durante el periodo de producción (Cruz *et al.*, 2006). En algunas ornamentales como son las del género *Lilium* la pérdida de calidad puede ser el resultado del

marchitamiento o caída de las hojas y/o los pétalos, decoloración de las hojas, o las torceduras geotrópicas de los tallos, lo cual demeritan su comercialización (Reid, 2009).

La creciente demanda de productos agrícolas de buena calidad e inocuos por parte de los consumidores, ha llevado a la comunidad científica a desarrollar nuevos sistemas de conservación que prolonguen la vida útil de los productos y que, al mismo tiempo, sean amigables con el ambiente. (AHM, 2012). En los últimos diez años, la protección de algunos productos se realiza con una mezcla de compuestos químicos sintéticos que no son totalmente biodegradables. Una de las alternativas que más relevancia está teniendo, en los últimos años, es el recubrimiento o película comestible (PC). Se trata de una película transparente que envuelve al producto y que actúa de barrera frente a la humedad y al oxígeno; pudiendo ser utilizadas también como soporte de aditivos para conservar las propiedades del producto o mejorar su apariencia (Navarra, 2010). Las PC pueden ser elaboradas a partir de una gran variedad de polisacáridos, proteínas y lípidos, solos o en combinaciones que logren aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir, conjuntamente plastificantes y emulsificantes que se utilizan de diversa naturaleza química con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales de la película, mismas que ayudaran a conservar al producto por más tiempo (Fernández-Valdés *et al.*, 2015).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es uno de los alimentos que forma parte de la dieta nutrimental en México. El contenido nutricional del nopal incluye minerales y

vitaminas; además, es rico en fibra alimentaria (pectinas, mucílago, celulosa y hemicelulosas) soluble e insoluble (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta 2004). El mucílago de nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol. Contiene aproximadamente de 35 a 40 % de arabinosa, 20 a 25% de galactosa y xilosa y de 7 a 8% de ramnosa y ácido galacturónico (Sáenz y Berger, 2006). Tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua (Ruiz y Guerrero, 2009), así mismo modifica propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, además de ser buen gelificante, espesante, y emulsificante (Álvarez *et al.*, 2007). Debido a su composición, el mucílago de nopal es una fuente abundante de polisacáridos, con composición variada y características físico-químicas diversas, lo cual resulta ser materia prima interesante para extraerse y usarse sola o mezclada con otros productos en la formación de películas comestibles, mismas que al aplicarse puedan incrementar la vida poscosecha de algunos productos agrícolas (Peña-Valdivia y Sánchez-Urdaneta 2004). Principalmente se ha probado en frutos como: higo (*Ficus carica*) (Allegra *et al.*, 2017), kiwi (*Actinidia deliciosa*) (Allegra *et al.*, 2016), piña (*Ananas comosus*) (Treviño-Garza *et al.*, 2017), fresas (*Fragaria ananassa*) (Del-Valle *et al.*, 2005), manzana (*Pyrus malus*) (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014); sin embargo no hay literatura que reporte el efecto de la aplicación de películas en flores. De acuerdo con lo anterior el objetivo de esta investigación fue estimar el efecto de la película a base de polisacáridos de nopal en la vida poscosecha de *Lilium* asiático, cv. Tesor.

2.4. Materiales y Métodos

2.4.1. Colecta de material vegetal

Se realizó de *Opuntia ficus-indica* del cultivar Jalpa, de aproximadamente veinticuatro meses de edad de la Granja Orgánica Certificada ubicada en el General Zuazua, N. L.

2.4.2. Extracción del mucílago

Se realizó en el Laboratorio de Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León siguiendo el procedimiento descrito por Espino-Díaz *et al.* (2010): Los cladodios se lavaron con detergente Axion® al 1 % y agua del grifo, se les retiraron las espinas con un cuchillo y fueron previamente pesados en una balanza analítica (TS-M Series Thomas®, EUA), posteriormente se molieron en un licuadora (Modelo 465015, Oster, EUA), después se colocó en un vaso de precipitado de 2 L y se llevó a ebullición durante 1 h a 80 °C para facilitar la extracción del mucílago de la fibra, así mismo para evitar la acción enzimática que degrada a los componentes del mucílago, posteriormente se colocó en un baño de hielo hasta alcanzar los 25 °C, una vez frío se filtró con un colador recubierto con tela de manta para separar el mucílago de la parte fibrosa del nopal. Una vez separado el mucílago, se precipitó con etanol en una relación 2:1 v/v (etanol-mucílago), el precipitado se filtró con ayuda de una bomba de vacío de dos etapas (Modelo AIT-2B, GB®, México), posteriormente el filtrado se colocó en cajas Petri y se llevó a una estufa de secado por 24 h/60 °C; ya seca la muestra se pulverizó en un mortero hasta obtener un polvo muy fino.

2.4.3. Formulación de las películas

Se prepararon dos soluciones acuosas la primera contenía 2 g de mucílago en polvo y 200 mL de agua destilada y la segunda 3 g de pectina en polvo y 200 mL de agua destilada, ambas soluciones se dejaron en agitación constante por 24 h y 40 min respectivamente hasta su completa disolución, posteriormente se hizo la combinación de estas soluciones a una proporción de 50:50, agregando 2 mL de glicerol como plastificante; las soluciones estuvieron en agitación constante por 30 min, esta solución fue reservada para su posterior aplicación.

2.4.4. Recubrimiento de las varas florales

Las varas florales de *Lilium* provenían del Laboratorio de Producción de Cultivos en Ambiente Controlado de la Facultad de Agronomía Campus Marín de la Universidad Autónoma de Nuevo León, los tallos de los tres tratamientos en campo se cortaron a una longitud de 60 cm, eliminando las hojas basales de los primeros 15 cm, posteriormente los tallos y hojas de las varas florales se recubrieron por completo con la película elaborada a base de polisacáridos de nopal; esta aplicación se realizó de forma manual con un atomizador, dejando una capa uniforme y se esperó a que la película secara aproximadamente 30 min, posteriormente se colocaron en recipientes con agua del grifo. Se evaluaron 6 tratamientos: T1 (100 bulbos m⁻²), T2 (80 bulbos m⁻²) y T3 (60 bulbos m⁻²) con y sin película; con tres repeticiones cada uno. Los 6 tratamientos fueron evaluados en dos condiciones de temperatura: refrigeración (4 °C) y temperatura ambiente (25 °C), para evaluar su vida poscosecha, en la que se realizaron cuatro muestreos a los 5, 10, 15 y 20 días después de cosecha. Las

variables que se evaluaron fueron: pérdida de peso con una balanza electrónica (Modelo 405, Salter Brecknell, EUA), se contabilizó el número de flores, apariencia de la vara floral mediante una escala hedónica donde: 4 = Excelente, 3 = Buena, 2 = Regular y 1 = Mala (Pérez-Arias *et al.*, 2014) y volumen de agua gastado con un probeta (volumen inicial 500 mL).

2.4.5. Análisis estadístico

Se realizó para los datos obtenidos de las variables evaluadas mediante un análisis de varianza con un arreglo factorial bajo un diseño completamente al azar y realizando asimismo una prueba de comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos con diferencias significativas. El software utilizado fue InfoStat 2017 versión 2017.1.2.

2.5. Resultados y Discusión

2.5.1. Pérdida de peso fresco en varas florales

De acuerdo con los resultados de pérdida de peso no se encontraron diferencias significativas entre las dos condiciones de temperatura evaluadas, pero si entre tratamientos ($p \leq 0.05$) (Figura 2.1), siendo los tratamientos sin película los que más perdieron peso, la pérdida de peso se debe principalmente al deterioro de los productos hortofrutícolas esto debido a que son tejidos vivos los cuales están sujetos a continuos cambios después de su cosecha (respiración, concentración de etileno, temperatura, etc.) (Oria, 2001); durante el almacenamiento estos productos continúan respirando, con lo que siguen consumiendo oxígeno (O_2) y desprendiendo

dióxido de carbono (CO₂); además de transpirar, es decir, pierden agua, lo cual produce pérdidas importantes por deshidratación; por lo cual se reduce su vida poscosecha (Pérez *et al.*, 2008). La velocidad de deterioro es generalmente proporcional a la velocidad a la que transcurre la respiración del producto (Vargas, 2004); Los tratamientos con la aplicación de la película perdieron menos peso que los que no la tenían esto se puede deber a que la película sirvió de barrera contra la pérdida de agua por transpiración; resultados similares se presentaron en higo y fresa (Allegra *et al.* 2017; Del Valle *et al.* 2005).

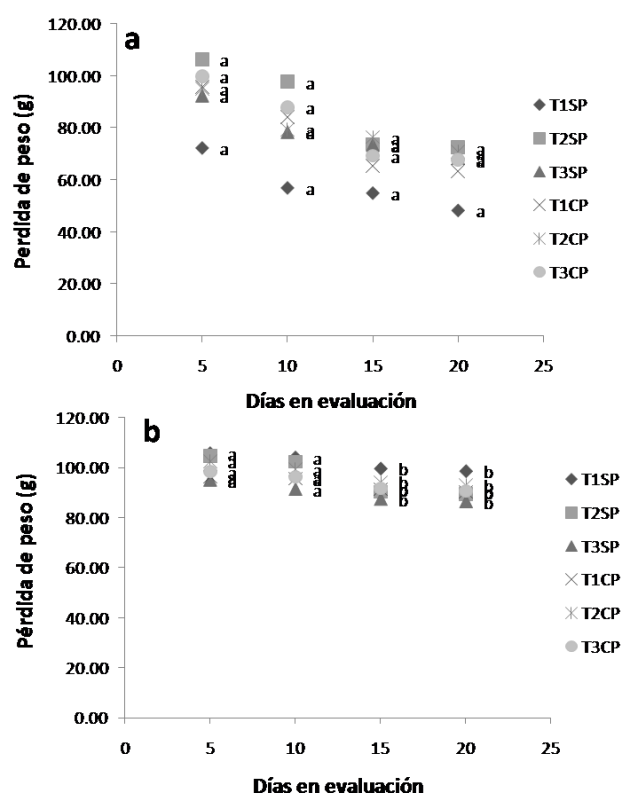


Figura 2.1 Pérdida de peso (g) por las varas florales de *Lilium* asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película; Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

2.5.2. Número de flores abiertas

El número de flores abiertas presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las dos condiciones de temperatura evaluadas (Figura 2.2). La apertura y crecimiento del botón floral son procesos irreversibles que involucran la expansión de las células y requieren de un alto consumo de carbohidratos (Crespo *et al.*, 2006). Reid (2009) menciona que la respiración de las flores cortadas, parte integral del crecimiento y la senectud, genera calor como subproducto. A medida que la temperatura ambiente sube la tasa de respiración aumenta, una flor a 30 °C posiblemente respire hasta 45 veces más rápido que una flor que se encuentre a 4 °C y por lo tanto envejezca. Los tratamientos que no tenían la aplicación de la película presentaron mayor número de flores abiertas; esto pudo deberse a que la película moderó el intercambio de O₂ y CO₂; estos gases al reducir la respiración y la producción de etileno; este último responsable de la madurez, al reducirse pudo evitar la apertura floral (Ramos *et al.* 2010).

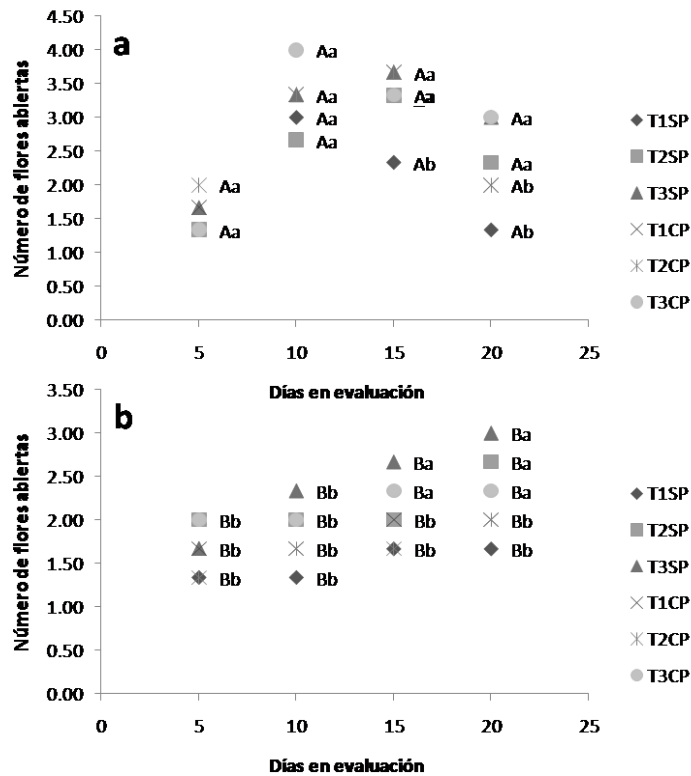


Figura 2.2 Número de flores abiertas de *Lilium* asiático cv. Tresor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película.

2.5.3. Apariencia de las varas florales

En el Cuadro 2.1 se puede observar la apariencia de las varas florales, encontrando diferencias significativas entre las dos temperaturas evaluadas y tratamientos ($p \leq 0.05$), al principio la apariencia de las varas se mantuvo en ambas condiciones de temperatura pero a los 15 y 20 días después de la cosecha se empieza a perder la bonita estética de las mismas, siendo los tratamientos con la aplicación de la película los que preservan su apariencia a través del tiempo tanto en temperatura ambiente como en refrigeración en un 5 y 2.5 % respectivamente, lo anterior coincide con lo establecido por Navarra (2010); quien menciona que la aplicación de la película se hace con el propósito de alargar la vida poscosecha de los productos agrícolas y al

mismo tiempo preservar su apariencia inicial. Cabe mencionar que las varas florales que tenían la cubierta y estaban en refrigeración conservaron su apariencia de 5 a 10 días más que las que no la tenían, la evaluación se detuvo a los 20 días de comenzado el experimento debido a que las varas florales que estaban en temperatura ambiente ya no tenían la apariencia para poder ser comparadas con las varas en refrigeración por lo cual esta información no se encuentra reportada.

Cuadro 2.1 Apariencia de las varas florales de *Lilium* asiático cv. Tesor durante su evaluación poscosecha.

Tratamiento/Condición	Días en evaluación			
	5	10	15	20
T1SPTA	4±0.0Aa	3±0.0Aa	3±0.0Bc	2±0.0Bc
T2SPTA	4±0.0Aa	3±0.7Aa	3±0.0Bbc	2±0.0Bbc
T3SPTA	4±0.0Aa	3±0.5Aa	3±0.0Bbc	2±0.0Bbc
T1CPTA	4±0.0Aa	4±0.5Aa	3±0.0Ba	3±0.0Ba
T2CPTA	4±0.0Aa	3±0.5Aa	3±0.0Bab	3±0.0Bab
T3CPTA	4±0.0Aa	4±0.5Aa	3±0.0Ba	3±0.0Ba
T1SPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.5Ac	2±0.5Ac
T2SPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.5Abc	3±0.5Abc
T3SPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.5Abc	3±0.0Abc
T1CPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.0Aa	3±0.0Aa
T2CPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.5Ab	3±0.0Aab
T3CPREF	4±0.0Aa	4±0.0Aa	3±0.5Aa	3±0.5Aa

TA=temperatura ambiente; REF=refrigeración; T=Tratamiento; SP=Sin película; CP=Con película; (4 = Excelente, 3 = Buena, 2 = Regular y 1 = Mala). (media±DS, n=3). Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($p \leq 0.05$); letras mayúsculas representan la condición y letras minúsculas la apariencia.

2.5.4. Volumen promedio de agua gastado por las varas florales

De acuerdo con los resultados de volumen de agua gastado (Figura 2.3) se encontraron diferencias significativas entre las dos temperaturas evaluadas pero no entre tratamientos, el consumo de agua es más evidente a temperatura ambiente (25 °C) que en refrigeración (4 °C) esto se debe a que la tasa de respiración aumenta y

en consecuencia la temperatura de los tejidos donde se produce, además la alta tasa respiratoria consume las reservas de carbohidratos y agua. Esto produce un empobrecimiento del estado general de la vara floral, por lo cual las varas conservadas a bajas temperaturas reducen su respiración lo cual provee que las reservas se consuman con menor velocidad al igual que el agua y la generación de calor de las mismas flores baje notablemente (Klasman, 2001).

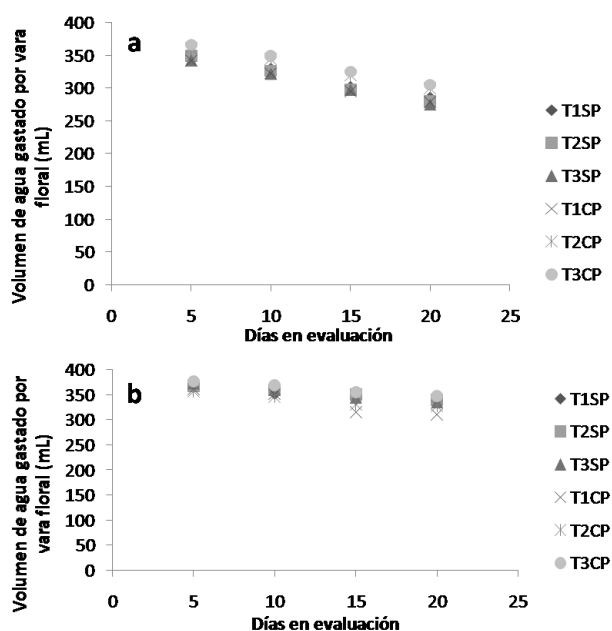


Figura 2.3 Volumen promedio de agua gastado (mL) por varas florales (n=3) de *Lilium* asiático cv. Tresor durante su evaluación poscosecha; a) temperatura ambiente; b) refrigeración; T= Tratamiento; SP= Sin película; CP= Con película.

2.5.5. Gasto promedio de la producción y aplicación de la cubierta a base de mucílago de nopal en *Lilium* asiático cv. Tresor

El costo de la producción y aplicación para un litro de recubrimiento fue de aproximadamente \$100.00 lo cual alcanza para recubrir aproximadamente 200 varas florales, las cuales a la venta tienen un valor promedio de \$25.00 por cada vara;

haciendo el deducible del costo de producción de la vara floral que es un aproximado de \$6.00 nos queda una ganancia de \$19.00 por cada vara; sumando de 20 a 25 días más para venderlas (tiempo extra que duraron las flores a partir de la aplicación del recubrimiento), teniendo en cuenta que estas flores estuvieron en refrigeración y ocuparon energía eléctrica quitaremos \$1.00 por vara floral; teniendo al final \$18.00 de ganancia por cada vara, lo cual hace rentable el uso de la cubierta para el manejo poscosecha de esta especie.

2.6. Conclusiones

La aplicación de la película a base de polisacáridos de nopal preserva las condiciones iniciales de las varas florales en compañía de la conservación a bajas temperaturas; reduciendo la pérdida de peso, número de flores abiertas y volumen de agua gastado, además de conservar la buena apariencia de las mismas, lo cual es importante para la comercialización de esta especie.

2.7. Bibliografía

1. Allegra, A., Inglese, P., Sortino, G., Settanni, L., Todaro, A., & Liguori, G. (2016). The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of 'Hayward' kiwi fruit slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 45-51.
2. Allegra, A., Sortino, G., Inglese, P., Settanni, L., Todaro, A., & Gallotta, A. (2017). The effectiveness of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on post-harvest maintenance of 'Dottato' fig (*Ficus carica* L.) fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 135-141.
3. Álvarez, O. C., Díaz, S. C., Ramírez, V. D., & Yáñez, F.J. (2007). "Secado por Aspersión de Mucílago de Nopal". IX Congreso de ciencia de los alimentos y V foro de ciencia y tecnología de alimentos. Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN. Guanajuato, Gto.

4. Asociación de Consumidores Orgánicos (ACO). (2018). México, tercer lugar en cultivo de flores. [Consultado Febrero 2019]. Disponible en: <https://consumidoresorganicos.org/2018/10/10/mexico-tercer-lugar-en-cultivo-flores/>
5. Asociación Hidropónica Mexicana (AHM). (2012). Ventajas de la hidroponía. [Consultado agosto 2018]. Disponible en: <http://hidroponia.org.mx/cultivo-hidroponico/ventajas-de-la-hidroponia/>
6. Cruz-Crespo, E., Arévalo-Galarza, L., Cano-Medrano, R., & Gaytán-Acuña, E. A. (2006). Soluciones pulso en la calidad poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv.'echo blue'. *Agricultura Técnica en México*, 32(2), 191-200.
7. Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751-756.
8. Espino-Díaz, M., De Jesús Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B., & Olivas, G. I. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science*, 75(6), 347-352.
9. Fernández-Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
10. Klasman, R. (2001). Enfriar las flores. *Buenos Aires, Argentina*.
11. Navarra. (2010). Los recubrimientos comestibles se convertirán en los envases del futuro. Solo ciencia. [Consultado agosto 2018]. Disponible en: <http://www.solociencia.com/ingenieria/06080403.htm>
12. Oria, R. (2001). Mantenimiento poscosecha de la calidad del melocotón de Calanda. *Dirección General de Tecnología Agraria. Informaciones Técnicas*, (96).
13. Orozco-Hernández, M. E., Mendoza Martínez, M., & María Estela Orozco Hernández, M. M. (2003). Competitividad local de la agricultura ornamental en México. (No. 300). e-libro, Corp.
14. Peña-Valdivia, C. B., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2004). Polisacáridos de nopalito y tuna. In *Memorias del X Congreso Nacional y VIII Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal y otras Cactáceas de Valor Económico*. Universidad Autónoma Chapingo (pp. 22-43).

15. Pérez-Arias, G. A., Alia-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2014). La refrigeración en húmedo y seco afecta la vida poscosecha de flores de corte de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* 'ABC Blue Rim'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1247-1260.
16. Pérez-Gago, M., del Río, M. A., & Rojas-Argudo, C. (2008). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Centro de Poscosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). *Revista Horticultura*, 207, 54-57.
17. Ramírez, H., & Benavides, A. (2003). Horticultural science and industry in Mexico—an overview. *Chronica Horticulturae*, 43(3), 20-25.
18. Ramírez-Hernández, J. J., & Avitia-Rodríguez, J. A. (2017). Floricultura mexicana en el siglo XXI: su desempeño en los mercados internacionales. *Revista de Economía*, 34 (88), 99-122.
19. Ramos-García, M. D. L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I., & Estrada-Carrillo, M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(1), 44-57.
20. Reid, M. S. (2009). Poscosecha de las flores cortadas-manejo y recomendaciones. U.C. Davis, EUA. Hortitecnia Ltda.
21. Ruiz, H. F., & Guerrero, B. J. A. (2009). “Aplicación de las películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) en refrigeración”. Tesis de maestría. Ciencia de alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Puebla.
22. Sáenz, C., & Berger, H. (2006). *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma. (Vol. 162). Food & Agriculture Org.
23. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). La infraestructura y sistemas requeridos para el desarrollo de clústeres de horticultura ornamental orientados a la exportación de productos de valor agregado a los Estados Unidos y Canadá. [Consultado marzo 2018]. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios_promercado/or_namental.pdf
24. Tecnológico de Monterrey (TecM). (2011). Estado de México hacia una identidad de conocimiento, el desarrollo tecnológico y la innovación, con ventajas comparativas y competitivas para las empresas, los negocios y el bienestar social. Estudio sectorial flores y horticultura ornamental. México.

25. Tejeda-Sartorius, O., Ríos-Barreto, Y., Trejo-Téllez, L. I., & Vaquera-Huerta, H. (2015). Caracterización de la producción y comercialización de flor de corte en Texcoco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1105-1118.
26. Treviño-Garza, M. Z., García, S., Heredia, N., Alanís-Guzmán, M. G., & Arévalo-Niño, K. (2017). Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 128, 63-75.
27. Vargas, M., Gillabert, M., González-Martínez, C., Albors, A., & Chiralt, A. (2004). Efecto de la aplicación de un film a base de quitosano en la calidad de fresas durante el almacenamiento. In *Actas del III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos*, 746-753.
28. Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., Del Real, A., González-Reza, R. M., Galindo-Pérez, M. J., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. *Food Research International*, 62, 974-983.

Capítulo 3 Recubrimiento comestible y su efecto sobre parámetros físicoquímicos de nopal

3.1. Resumen

Una alternativa viable para la preservación de la vida de anaquel de nopal es el uso de biopolímeros en forma de película comestible. Los polímeros pueden ser obtenidos del mismo nopal (mucílago) ya que se encuentra en alta concentración. En el presente estudio se desarrollaron recubrimientos comestibles a base de mucílago. Se realizó la extracción del mucílago de nopal del cultivar Jalpa de una granja orgánica certificada. La extracción se realizó calentando el nopal molido y se precipitó con etanol. Se formularon películas en relación 80 y 70 % de mucílago (obteniendo tres tratamientos considerando el control) usando glicerol como plastificante. Los nopales se conservaron en refrigeración y se evaluó la pérdida de peso, cambios de color, firmeza, pH, largo, ancho, diámetro basal y apical. De acuerdo con los resultados, se redujo la pérdida de peso usando recubrimientos comestibles, se mantuvo la firmeza y el color con el tratamiento al 80 % de mucílago por un periodo de 12 días; asimismo la constancia en el pH, largo, ancho, diámetro basal y apical de los cladodios de nopal verdura resultado de la preservación de vida de anaquel; la aplicación de las películas comestibles a base de mucílago de nopal es una alternativa viable para la conservación de productos hortofrutícolas, además de ser una tecnología sustentable de bajo costo; reduciendo así el uso de empaques no biodegradables.

Palabras clave: Películas, peso, firmeza, color, mucílago.

3.2. Abstract

A viable alternative for the preservation of nopal shelf life is the use of biopolymers in the form of an edible film. The polymers can be obtained from the same cactus (mucilage) since it is in high concentration. In the present study, edible coatings based on mucilage were developed. The extraction of the cactus mucilage from the Jalpa cultivar of a certified organic farm was carried out. The extraction was carried out by heating the ground nopal and precipitated with ethanol. Films were formulated in relation to 80 and 70% of mucilage (obtaining three treatments considering the control) using glycerol as a plasticizer. The nopales were kept under refrigeration and the weight loss, color changes, firmness, pH, length, width, basal and apical diameter were evaluated. According to the results, the weight loss was reduced using edible coatings, the firmness and color were maintained with the 80% treatment of mucilage for a period of 12 days; also the constancy in the pH, length, width, basal and apical diameter of the nopal cladodes vegetable result of the preservation of shelf life; the application of edible films based on cactus mucilage is a viable alternative for the conservation of horticultural products, as well as being a low-cost sustainable technology; thus reducing the use of non-biodegradable packaging.

Keywords: Films, weight, firmness, color, mucilage.

3.3. Introducción

La sociedad demanda alimentos funcionales que sean frescos, saludables, libres de aditivos, fáciles de preparar y con larga vida de anaquel. Por ello, es importante satisfacer sus necesidades las cuales les garanticen bienestar y salud (Torres-Ponce

et al. 2015). Debido a esto, es necesario el desarrollo de metodologías y alternativas de conservación de alimentos mínimamente procesados. El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una especie vegetal que se ha visto ligada a la historia de México desde sus inicios; teniendo así una gran diversidad de especies en el país. La producción anual es aproximadamente de 857 mil toneladas de nopal, de las cuales en el 2016 se exportaron 44 mil 768 toneladas generando divisas de \$14 006 158.00 de dólares; alcanzando mercado en 25 países dentro de los que se encuentran Alemania, Australia, Bélgica, Canadá, China, Corea del Sur, Costa Rica, Dinamarca, Japón, El Salvador, EUA, etc. (SAGARPA-SIAP 2016).

El nopal pertenece a las cactáceas por lo que se desarrolla en zonas áridas y semiáridas está ampliamente distribuido alrededor del mundo (Marin-Bustamante *et al.* 2018). Existen alrededor de 300 especies del género y cerca de 100 existen en México y de ellas, cerca del 40 % están dentro del desierto Chihuahuense (Torres-Ponce *et al.* 2015). Sin embargo, solo de 10 a 12 especies han sido aprovechadas por el hombre siendo su uso principal la alimentación humana (tuna y cladodio), animal (forraje), jabón (De Albuquerque *et al.* 2018), colorante (Aruwa *et al.* 2018), pectina (Morales-Martínez *et al.* 2018) y aceites (Chougui *et al.* 2013). Es una planta formada por tallos aplanados y modificados. Sus cladodios están cubiertos por espinas, y pelos multicelulares; estructuras llamadas tricomas y forman la areola distintiva de la familia *Cactaceae* (Guevara-Figueroa *et al.* 2010; Medina *et al.* 2007). Es una especie ampliamente estudiada debido a sus propiedades nutricionales

(incluyendo vitaminas, minerales y fibras) y por ser una fuente de compuestos bioactivos (Moussa-Ayoub *et al.* 2014).

Dentro de los compuestos de interés comercial se encuentra el mucilago el cual tiene múltiples aplicaciones que van desde aditivo para la industria cosmética, farmacéutica, alimentaria, etc. Es obtenido de los cladodios, es una sustancia hidrocoloidal, heteropolisacárida, sus estructuras moleculares con polielectrolitas, altamente ramificadas y con peso molecular en el orden de los millones de Da (3×10^6 - 4.3×10^6 Da) (Vargas-Rodríguez *et al.* 2016). Contiene aproximadamente de 35-40 % de arabinosa, 20-25 % de galactosa y xilosa y de 7-8 % de ramnosa y ácido galacturónico (Saenz 2006). Tiene capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua, así mismo modifica propiedades como viscosidad, elasticidad, textura, además de ser buen gelificante, espesante, y emulsificante (Peña-Valdivia, Trejo *et al.* 2012, Del-Valle *et al.* 2005).

Debido a su composición, el mucílago de nopal es una fuente abundante de polisacáridos, con composición variada y características físico-químicas diversas, por lo cual es una materia prima que puede usarse sola o mezclada con otros productos en la formación de películas comestibles, mismas que al aplicarse puedan incrementar la vida de anaquel tanto de los mismos nopales, como de otros productos agrícolas (Bello-Lara *et al.* 2016). Además, presentan una serie de ventajas ya que son una barrera frente a la humedad y al oxígeno siendo también acarreadores de aditivos que permiten preservar las propiedades del producto al que se aplica, prolongan vida de anaquel, mantienen las propiedades fisicoquímicas,

microbiológicas, sensoriales y mejoran su apariencia en diversos productos como fresa (Hajji *et al.* 2019), plátano (Thakur *et al.* 2019), melón (Ortiz-Duarte *et al.* 2019), manzana (Matta *et al.* 2019), durazno (Torres-León *et al.* 2018), entre otros. Las películas comestibles son una forma idónea de proteger alimentos frescos cortados altamente perecederos (Karaca *et al.* 2014, Pérez-Gago y Rhim 2014).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de la película comestible sobre la vida de anaquel de nopal verdura bajo condiciones de almacenamiento.

3.4. Materiales y Métodos

3.4.1. Colecta de material vegetal

Se colectaron 15 cladodios de *Opuntia ficus-indica* del cultivar Jalpa de veinticuatro meses de edad en la Granja Orgánica Certificada de la Procesadora de Gallinaza S. A. de C. V. ubicada en Carretera Zuazua-Marín Km. 3, Colonia Centro, General Zuazua, Nuevo León, México. Se conservaron en refrigeración (4-7 °C) hasta su evaluación.

3.4.2. Extracción del mucílago

Se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por (Espino-Díaz *et al.*, 2010). Los cladodios fueron pesados en una balanza analítica (TS-M Series Thomas[®], EUA), lavados con detergente Axion[®] al 1 % y agua del grifo, se les retiraron las espinas con un cuchillo y posteriormente se molieron en una licuadora (Modelo 465015, Oster, EUA), se colocó en un vaso de precipitado de 2 L, se calentó (1 h/80 °C) para facilitar la

extracción del mucilago de la fibra y para inactivar enzimas. Posteriormente, se colocó en baño de hielo hasta alcanzar 25 °C, se filtró con tela manta para separar la fracción fibrosa del mucilago. El mucílago fue precipitado con etanol en una relación 2:2 v/v (EtOH/fracción filtrada), se filtró con ayuda de una bomba de vacío (Modelo AIT-2B, GB[®], México) y el precipitado se secó en cajas Petri (24 h/60 °C), se pulverizó en un mortero y se almacenó en un recipiente hermético a temperatura ambiente (25 °C).

3.4.3. Formulación de las películas

Se preparó una solución madre a una relación 1:100 p/v (mucilago en polvo/agua destilada), se agitó en un vaso de precipitado por 24 h a temperatura ambiente (25 °C). Se realizaron diluciones a una relación 80:20 y 70:30 v/v (sol. Madre/agua destilada); posteriormente, se agregó 0.5 mL de glicerol como plastificante y se agitó nuevamente (5 min/60 °C) y se enfrió a temperatura ambiente (25 °C).

3.4.4. Recubrimiento de los cladodios de nopal verdura

Se realizó con la ayuda de un atomizador para dejar una capa uniforme y se dejó secar por 30 min. Fueron conservados en refrigeración (4 °C/85 % HR) (Modelo PTRF-0005/R-14, Torrey, México). Se realizaron 4 muestreos (4, 8, 12 y 16 días). Las variables evaluadas fueron: color con uso de un colorímetro (Modelo PCE-TCD 100, PCE Deutschl and GmbH, España) usando el sistema CIELab, pérdida de peso con el uso de una balanza analítica (TS-M Series Thomas[®], EUA), firmeza con un Texture Analyzer (TA.XT plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), pH con un

potenciómetro (HI 84532, HANNA Instruments[®], Italia), largo-ancho con un flexómetro, diámetro basal y apical con un micrómetro (Modelo IP65 0-1", Mitutoyo America Corporation, EUA).

3.4.5. Tratamientos y análisis estadístico

Se evaluaron tres tratamientos: T0 (Sin la aplicación de película), T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago) y T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago), cada uno con cinco repeticiones; unidad experimental un cladodio. Los datos obtenidos fueron analizados como un diseño completamente al azar con el software para análisis estadístico InfoStat, empleando el análisis de varianza. Se realizó una comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$) para los tratamientos con diferencias significativas.

3.5. Resultados y Discusión

3.5.1. Pérdida de peso fresco

La pérdida de peso fresco se incrementó de forma constante durante el periodo de evaluación en todos los tratamientos (Figura 3.1). Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, pero se observa una tendencia a mantener el peso en el tratamiento con la aplicación del recubrimiento con un 80 % de mucílago en comparación con el tratamiento del 70 % de mucílago y el control, esto es atribuido a la reducción del área expuesta de la red de sólidos que restringió el transporte de vapor de agua desde el interior (Cruz *et al.* 2015). La no pérdida de peso es muy importante para mantener la calidad comercial del producto, por lo que

el uso del recubrimiento comestible es una excelente herramienta para el control de la reducción de la pérdida de peso. Siendo la pérdida de peso una tendencia natural principalmente debida al proceso de transpiración (Rojas *et al.* 2015, De León-Zapata *et al.* 2015, Krochta y Mulder-Johnson 1997).

Gheribi *et al.* (2018) mencionan que el uso de recubrimientos comestibles a base de mucílago de nopal se ha utilizado en algunos frutos con la finalidad de retardar la pérdida de humedad; ejemplo de ellos es el higo (*Ficus carica*) (Allegra *et al.* 2017), kiwi (*Actinidia deliciosa*) (Allegra *et al.* 2016), piña (*Ananas comosus*) (Treviño-Garza *et al.* 2017), fresas (*Fragaria ananassa*) (Del-Valle *et al.* 2005), manzana (*Pyrus malus*) (Zambrano-Zaragoza *et al.* 2014), nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) (González, 2011). Esto se debe a la barrera formada alrededor del fruto que disminuye la concentración de O₂ y aumenta el CO₂ en el producto, lo que reduce el número de poros por los que se intercambia el vapor de agua y otros gases (Cruz *et al.* 2015, Islas-Osuna *et al.* 2010, Hagenmaier y Baker, 1993). Sin embargo, existe muy poca información respecto a la utilización de recubrimientos a base de mucilago para conservar el mismo nopal y considerando que estos productos transpiran existe una gran pérdida de producto debido a este fenómeno, reduciendo su vida de anaquel (Pérez-Gago y Rojas-Argudo 2008).

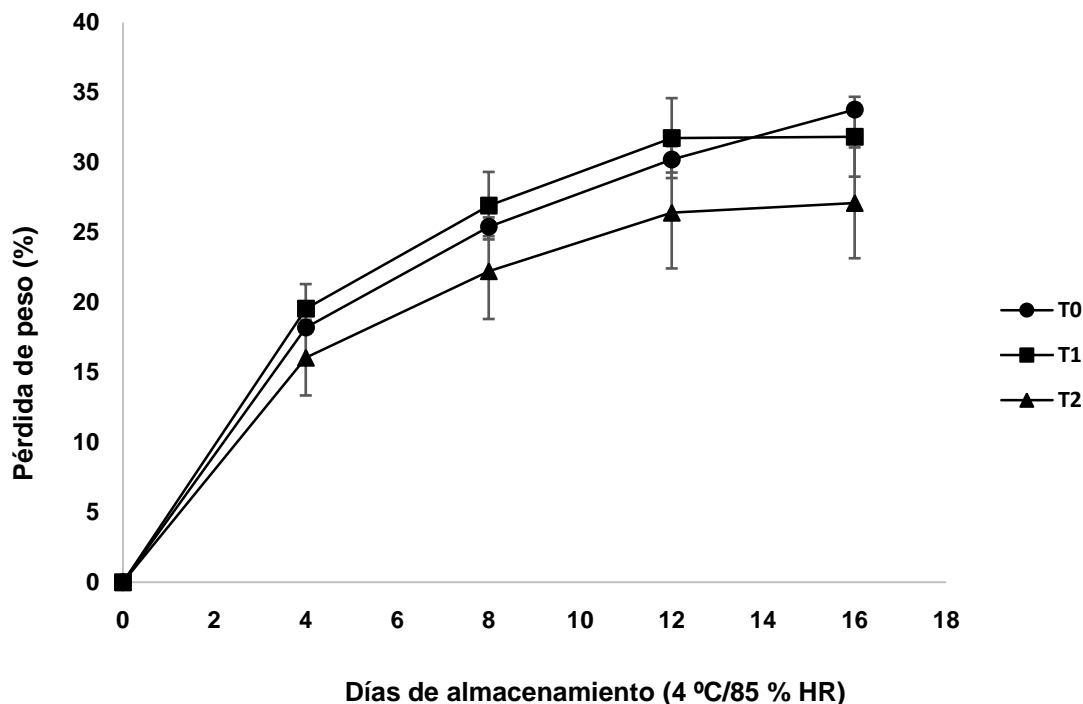


Figura 3.1 Pérdida de peso fresco (%) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucilago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucilago). Las barras representan el error estándar.

3.5.2. Cambios en color

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos durante los cuatro muestreos realizados. Sin embargo, el tratamiento con 80 % de mucilago tuvo un comportamiento más estable en cuanto a los índices de color, seguido del tratamiento con 70 % de mucilago y finalmente el control (sin recubrimiento) (Cuadro 3.1). En cuanto al cambio de color el comportamiento se debe a que el nopal siguió su proceso de respiración de forma acelerada debido al daño físico, incrementando sus procesos metabólicos como la producción de etileno, degradación de los lípidos de las membranas y el oscurecimiento oxidativo (Saltveit 2001); este último causa que el color verde del nopal se degrade al transcurrir los días. En las partes donde se

retiraron las espinas el oscurecimiento se inició después de 13 días en los tres tratamientos, esto se debe a los mecanismos de detección y transducción de señales de daño físico a nivel celular con la subsiguiente expresión de genes y respuestas bioquímicas que finalizan con la síntesis y acumulación de líganos responsables del color (Aquino-Bolaños y Mercado-Silva 2004) como parte del proceso normal de reparación de tejidos.

Cuadro 3.1 Índices de color obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha.

Tiempo (días)	Índices de color	T0	T1	T2
0	<i>L</i> *	45.70±1.01	43.20±6.48	44.72±5.64
	<i>a</i> *	10.72±1.72	9.72±1.41	10.32±1.94
	<i>b</i> *	27.66±2.43	26.38±4.75	26.3±4.34
	<i>C</i> *	29.70±1.99	28.24±4.13	28.32±4.17
	<i>h</i> °	111.34±4.16	110.78±5.63	111.66±4.35
4	<i>L</i> *	45.56±6.52	46.90±7.28	42.98±3.50
	<i>a</i> *	10.50±1.80	11.26±2.14	10.9±1.51
	<i>b</i> *	27.28±5.44	29.36±4.89	28.00±6.09
	<i>C</i> *	29.28±5.55	31.44±5.15	30.14±5.96
	<i>h</i> °	111.24±2.82	111.06±2.37	112.48±4.25
8	<i>L</i> *	45.88±5.03	50.36±3.98	47.56±3.94
	<i>a</i> *	11.80±0.88	12.98±0.88	11.34±0.55
	<i>b</i> *	29.10±3.68	34.94±1.41	30.48±3.60
	<i>C</i> *	31.44±3.49	37.32±1.25	32.58±3.26
	<i>h</i> °	112.24±2.75	110.40±1.73	110.58±2.98
12	<i>L</i> *	49.38±5.08	50.42±3.74	46.80±2.98
	<i>a</i> *	11.54±0.69	12.30±0.52	11.08±1.16
	<i>b</i> *	30.48±4.76	34.02±2.20	28.66±4.07
	<i>C</i> *	32.64±4.46	36.18±2.17	30.76±4.02
	<i>h</i> °	111.08±3.43	109.92±0.97	111.26±2.10
16	<i>L</i> *	49.38±5.08	50.42±3.74	46.80±2.98
	<i>a</i> *	11.54±0.69	12.30±0.52	11.08±1.16
	<i>b</i> *	30.48±4.76	34.02±2.20	28.66±4.07
	<i>C</i> *	32.64±4.46	36.18±2.17	30.76±4.02
	<i>h</i> °	111.08±3.43	109.92±0.97	111.26±2.10

Tratamientos = T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). IDC*= Índices de color; *L**=Luminosidad; *a**=índice de rojos; *b**=índice de amarillos; *C**=cromaticidad; *h*°=ángulo de tono.

3.5.3. Firmeza

La pérdida de firmeza o textura se refleja en caída de la aceptabilidad del consumidor ya que es uno de los cambios más notables que ocurren en el nopal durante su almacenamiento. Este parámetro evaluado tuvo un comportamiento similar a la pérdida de peso. Sin embargo, si se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) a

partir del cuarto día siendo el tratamiento con 80 % de mucílago de nopal el que conservó más estable los parámetros de firmeza, seguido de tratamiento con el 70 % de mucílago y finalmente el control (Figura 3.2). El tratamiento recubierto con la película con el 80 % de mucílago mantuvo su firmeza estable, esto se debe a que guardan una estrecha relación la pérdida de peso con la firmeza, es decir, si se tiene una barrera de protección (película comestible) se reduce la pérdida de peso y la pérdida de turgencia debida a la reducción del área abierta en la red de sólidos emulsionados, que restringe el transporte del vapor de agua, compuestos volátiles, O_2 y CO_2 (De León-Zapata *et al.* 2015, Campos *et al.* 2011, Pastor *et al.* 2008, Strübing *et al.* 2008, Baez *et al.* 2001). Además, puede deberse a las interacciones del CO_2 con enzimas pectinolíticas ya que a altas concentraciones de CO_2 intra-fruto se inhibe la degradación de sustancias pécticas en frutos recubiertos (Cisneros-Zevallos y Krochta 2003); en frutos control la ruptura de sustancias pécticas a medida que madura es promovida por un incremento en el etileno interno que activa las enzimas pectinesterasa y poligalacturonasa (Hobson y Grierson 1993).

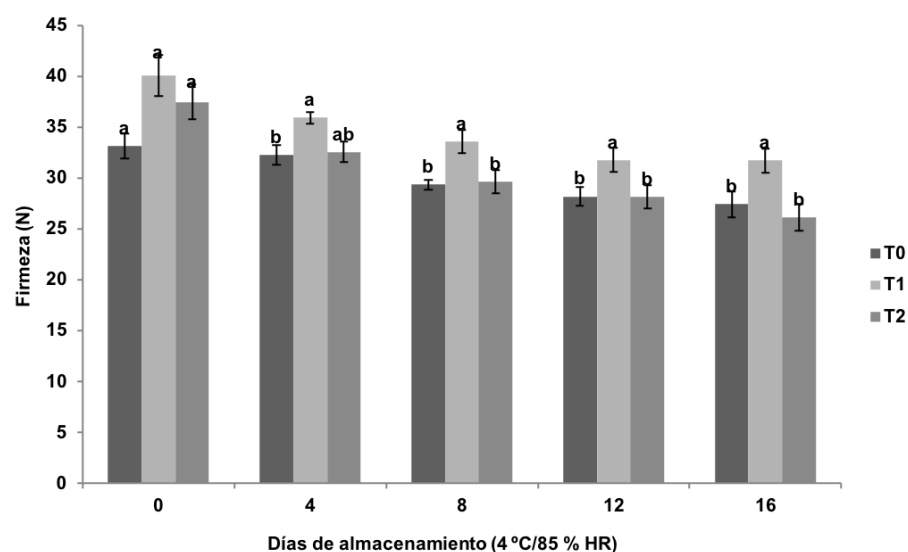


Figura 3.2 Valores de firmeza (N) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar. Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

3.5.4. pH, largo, ancho, diámetro basal y apical

Los cambios en pH no mostraron diferencias significativas (Figura 3.3). La estabilidad del pH se debe al alto contenido de ácido galacturónico el cual forma parte de la pectina (polisacárido aniónico) presente en el nopal ya que está constituida por al menos un 65 % de monómeros de ácido galacturónico unidos por enlaces glucosídicos $\alpha \rightarrow 1,4$ y monosacáridos tales como arabinosa, ramnosa, fructosa, galactosa y xilosa (Chigwedere *et al.* 2019, Pancerz *et al.* 2019). Además, tiene un pH en un rango de 2.9-3.3 lo que le confiere la naturaleza ácida (Chevalier *et al.* 2019, Brejnholt 2009). Adicionalmente, la escala logarítmica de interpretación de pH no permite observar los cambios, sin embargo, se destaca que el uso de películas

mantiene los valores estables y por tanto es evidencia de la preservación del producto con el uso de la película comestible.

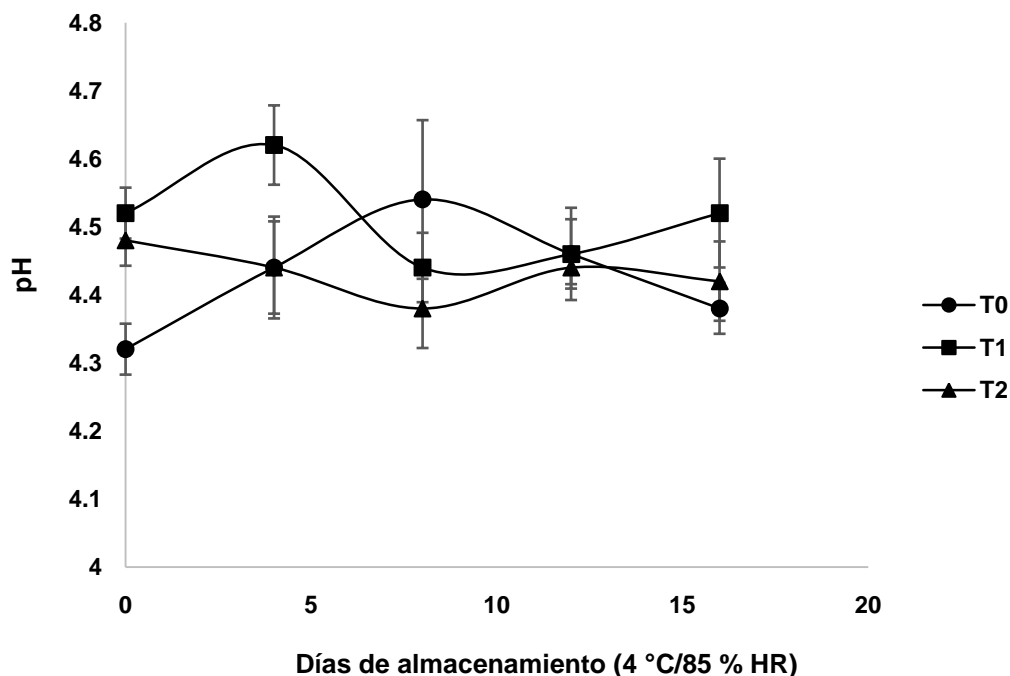


Figura 3.3 Valores de pH obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar.

Durante la evaluación poscosecha no se encontraron diferencias significativas para las variables de largo, ancho, diámetro basal y apical (Figura 3.4). En cuanto a las características comerciales se mantuvo una estabilidad en el producto siendo estas las características tomadas en cuenta para la comercialización del nopal verdura de acuerdo a lo establecido por la NMX-FF-068-SCFI-2006 (Economía, 2006).

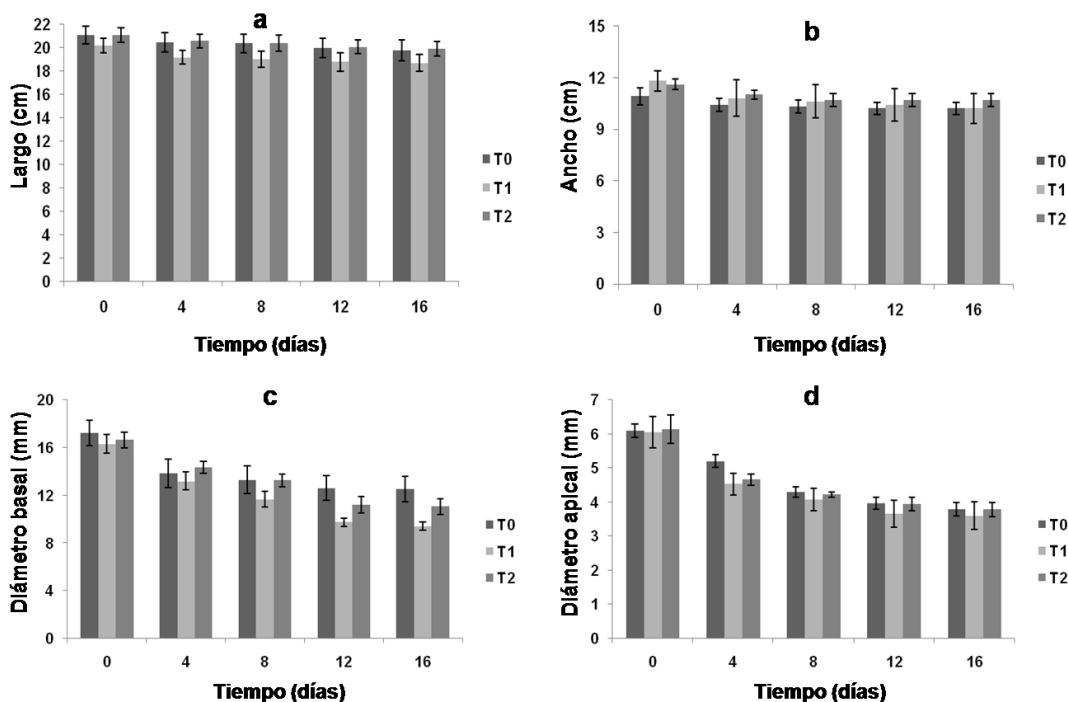


Figura 3.4 Valores de los parámetros: a) largo (cm); b) ancho (cm); c) diámetro basal y d) apical (mm) obtenidos de cladodios de nopal verdura durante su evaluación poscosecha. T0 (Sin la aplicación de película); T1 (Con la aplicación de la película de 80 % de mucílago); T2 (Con la aplicación de la película de 70 % de mucílago). Las barras representan el error estándar.

3.6. Conclusiones

La aplicación de películas comestibles a base de polisacáridos de nopal mantiene la calidad de vida de anaquel de nopal, principalmente la firmeza del producto por un periodo de almacenamiento de 12 días bajo condiciones de refrigeración (película con 80 % de mucílago). Por ello, la formulación de películas comestibles es una alternativa viable de conservación de nopal verdura, reduciendo el uso de materiales de empaque no biodegradables.

3.7. Bibliografía

1. Allegra, A., Inglese, P., Sortino, G., Settanni, L., Todaro, A., & Liguori, G. (2016). The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the

- quality of 'Hayward' kiwi fruit slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 45-51.
2. Allegra, A., Sortino, G., Inglese, P., Settanni, L., Todaro, A., & Gallotta, A. (2017). The effectiveness of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on post-harvest maintenance of 'Dottato' fig (*Ficus carica* L.) fruit. *Food packaging and shelf life*, 12, 135-141.
 3. Aquino-Bolaños, E. N., & Mercado-Silva, E. (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology*, 33(3), 275-283.
 4. Aruwa, C. E., Amoo, S. O., & Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects—A comprehensive review. *Food Research International*. 112, 328–344.
 5. Báez, R., Bringas, E., González, G., Mendoza, T., Ojeda, J., & Mercado, J. (2001). Comportamiento postcosecha del mango 'Tommy Atkins' tratado con agua caliente y ceras. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*. 44, 39–43.
 6. Brejnholt, S. M. (2009). Pectin. *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Ed. A. Imeson, John Wiley, Oxford. pp: 237–65.
 7. Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.
 8. Chevalier, L. M., Rioux, L. E., Angers, P., & Turgeon, S. L. (2019). Study of the interactions between pectin in a blueberry puree and whey proteins: Functionality and application. *Food Hydrocolloids*, 87, 61-70.
 9. Chigwedere, C. M., Nkonkola, C. M., Rai, S., Kyomugasho, C., Kermani, Z. J., Pallares, A. P., & Hendrickx, M. E. (2018). Cotyledon pectin molecular interconversions explain pectin solubilization during cooking of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 116 462–470.
 10. Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4), 796-803.
 11. Cisneros-Zevallos, L., & Krochta, J. M. (2003). Whey protein coatings for fresh fruits and relative humidity effects. *Journal of Food Science*, 68(1), 176-181.
 12. Cruz, V., Rojas, R., Saucedo-Pompa, S., Martínez, D. G., Aguilera-Carbó, A. F., Alvarez, O. B., & Aguilar, C. N. (2015). Improvement of shelf life and sensory quality of pears using a specialized edible coating. *Journal of Chemistry*, 2015, 7.
 13. De Albuquerque, J. G., de Souza Aquino, J., de Albuquerque, J. G., de Farias, T. G. S., Escalona-Buendía, H. B., Bosquez-Molina, E., & Azoubel, P. M.

- (2018). Consumer perception and use of nopal (*Opuntia ficus-indica*): A cross-cultural study between Mexico and Brazil. *Food Research International*.
14. De León-Zapata, M. A., Sáenz-Galindo, A., Rojas-Molina, R., Rodríguez-Herrera, R., Jasso-Cantu, D., & Aguilar, C. N. (2015). Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 70-75.
 15. Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751-756.
 16. Economía, S. de. Productos alimenticios hortaliza fresca. Nopal verdura con espinas (*Opuntia* spp) especificaciones. (2006).
 17. Espino-Díaz, M., De Jesús Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B., & Olivas, G. I. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-Indica* (L.). *Journal of Food Science*, 75(6), E347-E352.
 18. Gheribi, R., Puchot, L., Verge, P., Jaoued-Grayaa, N., Mezni, M., Habibi, Y., & Khwaldia, K. (2018). Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 190, 204-211.
 19. González, L. R. G. (2011). Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar*, (10), 14.
 20. Guevara-Figueroa, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., & de la Rosa, A. P. B. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525-532.
 21. Habibi, Y., Heux, L., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2008). Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 102-112.
 22. Hagenmaier, R. D., & Baker, R. A. (1993). Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(2), 283-287.
 23. Hajji, S., Younes, I., Affes, S., Boufi, S., & Nasri, M. (2018). Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins

- and their use for extending strawberries postharvest life. *Food Hydrocolloids*, 83, 375-392.
24. Hobson, G., & Grierson, D. (1993). Tomato BT - Biochemistry of Fruit Ripening. In G. B. Seymour, J. E. Taylor, & G. A. Tucker (Eds.) Dordrecht: Springer Netherlands. pp: 405–442.
 25. Islas-Osuna, M. A., Stephens-Camacho, N. A., Contreras-Vergara, C. A., Rivera-Domínguez, M., Sánchez-Sánchez, E., Villegas-Ochoa, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2010). Novel postharvest treatment reduces ascorbic acid losses in mango (*Mangifera indica* L.) var. Kent. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(3), 342-349.
 26. Karaca, H., Pérez-Gago, M. B., Taberner, V., & Palou, L. (2014). Evaluating food additives as antifungal agents against *Monilinia fructicola* in vitro and in hydroxypropyl methylcellulose–lipid composite edible coatings for plums. *International Journal of Food Microbiology*, 179, 72-79.
 27. Krochta, J. M., De Mulder-Johnson, C. D. (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenges and Opportunities. *Food Technology*, 51(2):61-74.
 28. Lara, J. E. B., Balois-Morales, R., Martínez, M. T. S., López, P. J., Jimenez-Ruiz, E. I., Sánchez-Herrera, L. M., & Paredes, D. G. (2016). Biopolímeros de mucílago, pectina de nopalitos y quitosano, como recubrimientos en almacenamiento y vida de anaquel de frutos de aguacate ‘Hass’. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(2), 43-50.
 29. Marin-Bustamante, M. Q., Chanona-Pérez, J. J., Guemes-Vera, N., Arzate-Vázquez, I., Perea-Flores, M. J., Mendoza-Pérez, J. A., & Casarez-Santiago, R. G. (2018). Evaluation of physical, chemical, microstructural and micromechanical properties of nopal spines (*Opuntia ficus-indica*). *Industrial Crops and Products*, 123, 707-718.
 30. Matta, E., Tavera-Quiroz, M. J., & Bertola, N. (2019). Active edible films of methylcellulose with extracts of green apple (Granny Smith) skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 1292-1298.
 31. Medina, E. D., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus-indica* fruits. *Food Chemistry*, 103(1), 38-45.
 32. Morales-Martínez, Y., del Rocío López-Cuellar, M., Chavarría-Hernández, N., & Rodríguez-Hernández, A. I. (2018). Rheological behaviour of acetylated pectins from cactus pear fruits (*Opuntia albicarpa* and *O. matudae*). *Food Hydrocolloids*, 85, 110-119.
 33. Moussa-Ayoub, T. E., El-Hady, E. S. A. A., Omran, H. T., El-Samahy, S. K., Kroh, L. W., & Rohn, S. (2014). Influence of cultivar and origin on the flavonol

- profile of fruits and cladodes from cactus *Opuntia ficus-indica*. *Food Research International*, 64, 864-872.
34. Ortiz-Duarte, G., Pérez-Cabrera, L. E., Artés-Hernández, F., & Martínez-Hernández, G. B. (2019). Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 174-184.
 35. Pancerz, M., Ptaszek, A., Sofińska, K., Barbasz, J., Szlachcic, P., Kucharek, M., & Łukasiewicz, M. (2019). Colligative and hydrodynamic properties of aqueous solutions of pectin from cornelian cherry and commercial apple pectin. *Food Hydrocolloids*, 89, 406-415.
 36. Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., Arroyo-Peña, V. B., Sánchez Urdaneta, A. B., & Balois Morales, R. (2012). Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Chemistry & Biodiversity*, 9(8), 1599-1610.
 37. Pérez-Gago, M. B., & Rhim, J. W. (2014). Edible Coating and Film Materials: Lipid Bilayers and Lipid Emulsions. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (Second Edition) San Diego: Academic. pp: 325–350.
 38. Pérez-Gago, M. B., Del Río, M. A., & Rojas-Argudo, C. (2008). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola: Frutas, Hortalizas, Flores, Plantas, Árboles Ornamentales y Viveros*, 207, 54-57.
 39. Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C. J., Orozco-Esquivel, M., Muñoz, C., Aguirre-Joya, J., Aguilar, C. N. (2015). Edible candelilla wax coating with fermented extract of tarbush improves the shelf life and quality of apples. *Grape and Wine Biotechnology* 57(0), 1857–1860.
 40. Saenz, C. (2006). Utilización agroindustrial de nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* 162, 7-22.
 41. SAGARPA-SIAP (2016) Boletín de exportaciones, Nopalitos. México. [Consultado Febrero 2019]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222630/Boletin_de_exportaciones_nopalitos_2017_05.pdf
 42. Saltveit, M. E. (2001). Chilling injury is reduced in cucumber and rice seedlings and in tomato pericarp discs by heat-shocks applied after chilling. *Postharvest Biology and Technology*, 21(2), 169-177.
 43. Strübing, S., Metz, H., & Mäder, K. (2008). Characterization of poly (vinyl acetate) based floating matrix tablets. *Journal of Controlled Release*, 126(2), 149-155.
 44. Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S. P., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E., & Vuong, Q. V. (2019). A starch edible surface coating

- delays banana fruit ripening. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 100, 341-347.
45. Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O. B., & Aguilar, C. N. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 97, 624-631.
 46. Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. D. L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1129-1142.
 47. Treviño-Garza, M. Z., García, S., Heredia, N., Alanís-Guzmán, M. G., & Arévalo-Niño, K. (2017). Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 128, 63-75.
 48. Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J., & Gonzalez-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6), 496-511.
 49. Vargas-Rodríguez, L., Arroyo Figueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., García Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26 (1), 8-11.
 50. Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29-38.
 51. Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., Del Real, A., González-Reza, R. M., Galindo-Pérez, M. J., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. *Food Research International*, 62, 974-983.

ANEXOS

Con la información obtenida de la presente investigación se realizaron las siguientes participaciones y publicaciones:

- Participación como ponente en modalidad póster en el “XVI Symposium Taller Nacional y IX Internacional; Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey” con el tema “Extracción y caracterización del mucílago de tres cultivares de *Opuntia* spp. para su uso en la formulación de películas comestibles” (16 y 17 de noviembre de 2017, FAUANL, Escobedo, Nuevo León, México).
- Participación como ponente en modalidad póster en el “XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo” con el tema “Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y calidad comercial de *Lilium* asiático cv. Tesor cultivado bajo condiciones de hidroponia” (1 a 5 de octubre de 2018, UAAAN, Saltillo, Coahuila, México).
- González-Sandoval, D. C.; Rodríguez-Fuentes, H.; Sánchez-Alejo, E. J.; Rojas, R. (2018). Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento y calidad comercial de *Lilium* asiático cv. Tesor cultivado bajo condiciones de hidroponia. *In Memoria del XLIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo* (pp. 596-602).
- Brenda Luna-Sosa, Guillermo C.G. Martínez-Ávila, Dulce C. González-Sandoval, Humberto Rodríguez-Fuentes, Ernesto Sánchez-Alejo and Romeo Rojas. (2019). Agroindustrial Exploitation of the Mucilage Obtained from the Nopal Cactus *Opuntia* spp. Cultivated in Hydroponics. *Novel Techniques in Nutrition and Food Science*. 3(2).